تغذية النبات
Plants Nutrition

(النظري والعملي)

إعداد

الأستاذ الدكتور
مظفر أحمد داود الموصلي

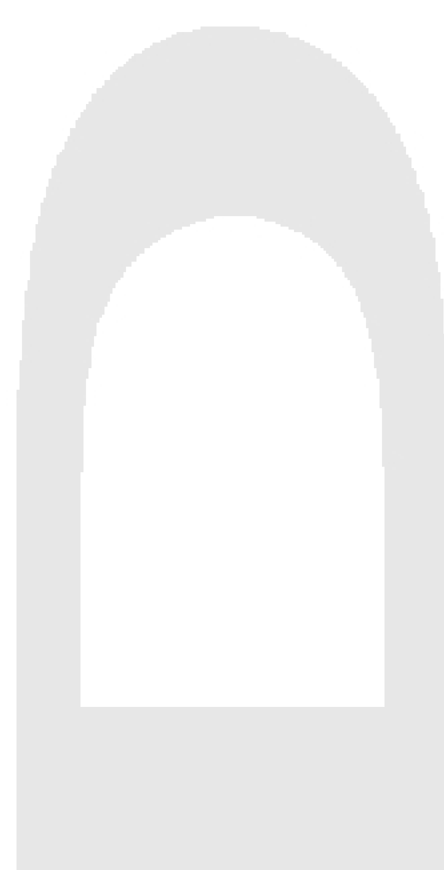
الدكتورة
وحيدة علي البدراني

التدريسي
فاتح عبد سيد حسن

الدكتور
صالح محمد الراشدي

دار الكتب العلمية
Dar Al-Kotob Al-ilmiyah
DKi
أسسها محمد علي بيضون سنة 1971 بيروت - لبنان
Est. by Mohammad Ali Baydoun 1971 Beirut - Lebanon
Établie par Mohamad Ali Baydoun 1971 Beyrouth - Liban





http://www.al-ilmiyah.com info@al-ilmiyah.com sales@al-ilmiyah.com

الكتاب: تغذية النبات

Title: TAĞDIYAT AN-NABĀT
(Plants Nutrition)

التصنيف: علم النبات

Classification: Botany

إعداد: الأستاذ الدكتور مظفر أحمد داود الموصلي
والدكتورة وحيدة علي البدراني
والتدريسي فاتح عبد سيد حسن
والدكتور صالح محمد الراشدي

Prepared by: Prof. Dr. Mudhafar Ahmed Dawood Al-Musly
& Dr. Wahida Ali Al-Badrani
& Mr. Fateh Abed Sayyid Hassan
& Dr. Saleh Mohammed Al-Rashidy

الناشر: دار الكتــب العلمـيــة – بيــروت

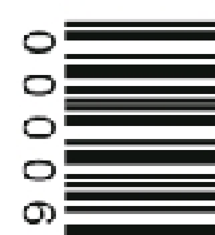
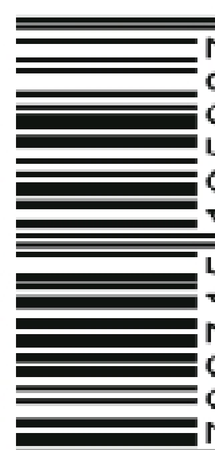
Publisher: Dar Al-Kotob Al-ilmiyah - Beirut

Pages	464	عدد الصفحات
Size	17 x 24 cm	قياس الصفحات
Year	2019 A.D. - 1441 H.	سنة الطباعة
Printed in	Lebanon	بلد الطباعة لبنـان
Edition	1st	الطبعة الأولى

Dar Al-Kotob Al-ilmiyah
Est. by Mohamad Ali Baydoun
1971 Beirut - Lebanon

Aramoun, al-Quebbah,
Dar Al-Kotob Al-ilmiyah Bldg.
Tel : +961 5 804 810/11/12
Fax: +961 5 804813
P.o.Box: 11-9424 Beirut-Lebanon,
Riyad al-Soloh Beirut 1107 2290

عرمون، القبة، مبنى دار الكتب العلمية
هاتف: ٨٠٤٨١٠/١١/١٢ ٥ ٩٦١+
فاكس: ٨٠٤٨١٣ ٥ ٩٦١+
ص.ب: ١١-٩٤٢٤ بيروت-لبنان
رياض الصلح-بيروت ١١٠٧٢٢٩٠

ISBN 978-2-7451-9593-7



﴿وَفِي الْأَرْضِ قِطَعٌ مُتَجَاوِرَاتٌ وَجَنَّاتٌ مِنْ أَعْنَابٍ وَزَرْعٌ وَنَخِيلٌ صِنْوَانٌ وَغَيْرُ صِنْوَانٍ يُسْقَى بِمَاءٍ وَاحِدٍ وَنُفَضِّلُ بَعْضَهَا عَلَى بَعْضٍ فِي الْأُكُلِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِقَوْمٍ يَعْقِلُونَ﴾

صدق الله العظيم

الرعد: ٤

محتويات الكتاب (الجزء النظري)

محتويات الكتاب (الجزء العملي)

المقدمة



إن الْحَمْد لِلّه نَحْمَدُه وَنَسْتَغْفِرُه، وَنَعُوْذ بِاللّه مِن شُرُوْر أَنْفُسِنَا، وَمَن سَيِّئَات أَعْمَالِنَا، مِن يَهْدِه اللَّه فَلَا مُضِل لَه، وَمَن يُضْلِل فَلَا هَادِي لَه، وَأَشْهَد أَن لَا إِلَه إِلَا اللَّه وَحْدَه لَا شَرِيْك لَه، وَأَشْهَد أَن مُحَمَّدا عَبْدُه وَرَسُوْلُه صَلَّى اللَّه عَلَيْه وَسَلَّم تَسْلِيْما كَثِيْرًا.

يَقُوْل اللَّه تعالى فِي كِتَابِه الْعَزِيْز، بِسْم اللَّه الْرَّحْمَن الْرَّحِيْم ﴿أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَتُصْبِحُ الْأَرْضُ مُخْضَرَّةً إِنَّ اللَّهَ لَطِيفٌ خَبِيرٌ﴾ الحج: ٦٣

المكتبة العربية بحاجة إلى التخصصات الدقيقة في محاكاة العلوم المختلفة، لأننا لازلنا نكتفي بالعام قبل الخاص في وقت باتت هذه العلوم تدرس في أدق مدياتها في الغرب، نحن وبتوفيق من الله عز وجل نقدم للقارئ العربي هذا العلم (تغذية النبات)، وبشقيه النظري والعملي، وهو موجه لطلبة الدراسات العليا والأولية، ومراكز البحوث الزراعية، وكليات الزراعة والتربية والعلوم والبيئة، لكل من لديه ملاحظة أو نقد أو اعتراض أو تعقيب أو توضيح أو إضافة أو مناقشة أو معلومة أو كلمة أو نصح أو فائدة علمية أو مصدر أو كتاب فيه معلومات إضافية تفيد كتابنا هذا، أن لا يبخل بها علينا، ونحن بشر نصيب ونخطئ ورحم الله من أهدى إلينا عيوبنا ونور لنا دروبنا

.

الفصل الأول

مدخل عام لعلوم التربة

لو أخذت قطعة من جسم الإنسان وأجريت عليها عمليات تحليل لوجدتها تتركب من ١٦ عنصرا، وهي نفس العناصر التي تتواجد في التربة ويمتصها النبات وتكون بنفس النسب تقريبا، هذه العناصر هي: (الجدول ١)

الجدول ١ : نسب العناصر الغذائية في التربة

الأوكسجين ٦٣.٠٣ %	الكاربون ٢٠.٢٠ %	الهيدروجين ٩.٩٠%
النتروجين ٢.٥ %	الكالسيوم ٢.٤٥ %	الفسفور ١.٠١ %
الكلور ٠.١٦ %	الفلور ٠.١٤%	الكبريت ٠.١٤%
البوتاسيوم ٠.١١%	الصوديوم ٠.١٠%	المغنيسيوم ٠.٠٧%
الحديد ٠.٠١ %	وآثار من كل من اليود والسليكون والمنغنيز	

تنتقل هذه العناصر من التربة إلى جسم الإنسان بما يتناول المرء من الأطعمة والمأكولات، وعندما يموت الإنسان تبلى جثته وتتحلل إلى عناصرها الأولى وتعود إلى التربة فثمة دورة كاملة للعناصر في الطبيعة.

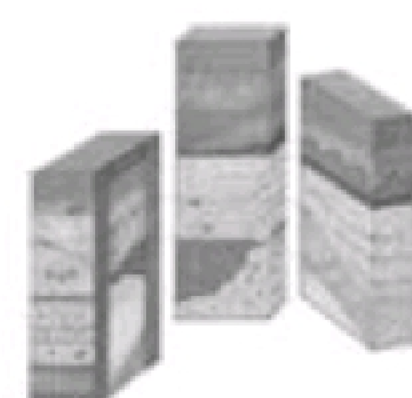
إن ما يلفت الانتباه أن جميع القصص ذات العلاقة بخلق الإنسان من طين والوارد ذكرها في المصادر المسمارية والعهد القديم والقرآن الكريم متشابهة في الخطوط العامة الجوهرية والأساسية، وهذا لم يكن مصادفة بل ذلك يؤكد تتابع الرسالات السماوية وبعث الأنبياء والرسل ومعرفة الناس بقصة خلق الإنسان من طين

قال تعالى في القرآن الكريم (وَلَقَدْ خَلَقْنَا الإنسان مِنْ سُلَالَةٍ مِنْ طِينٍ) المؤمنون: ١٢

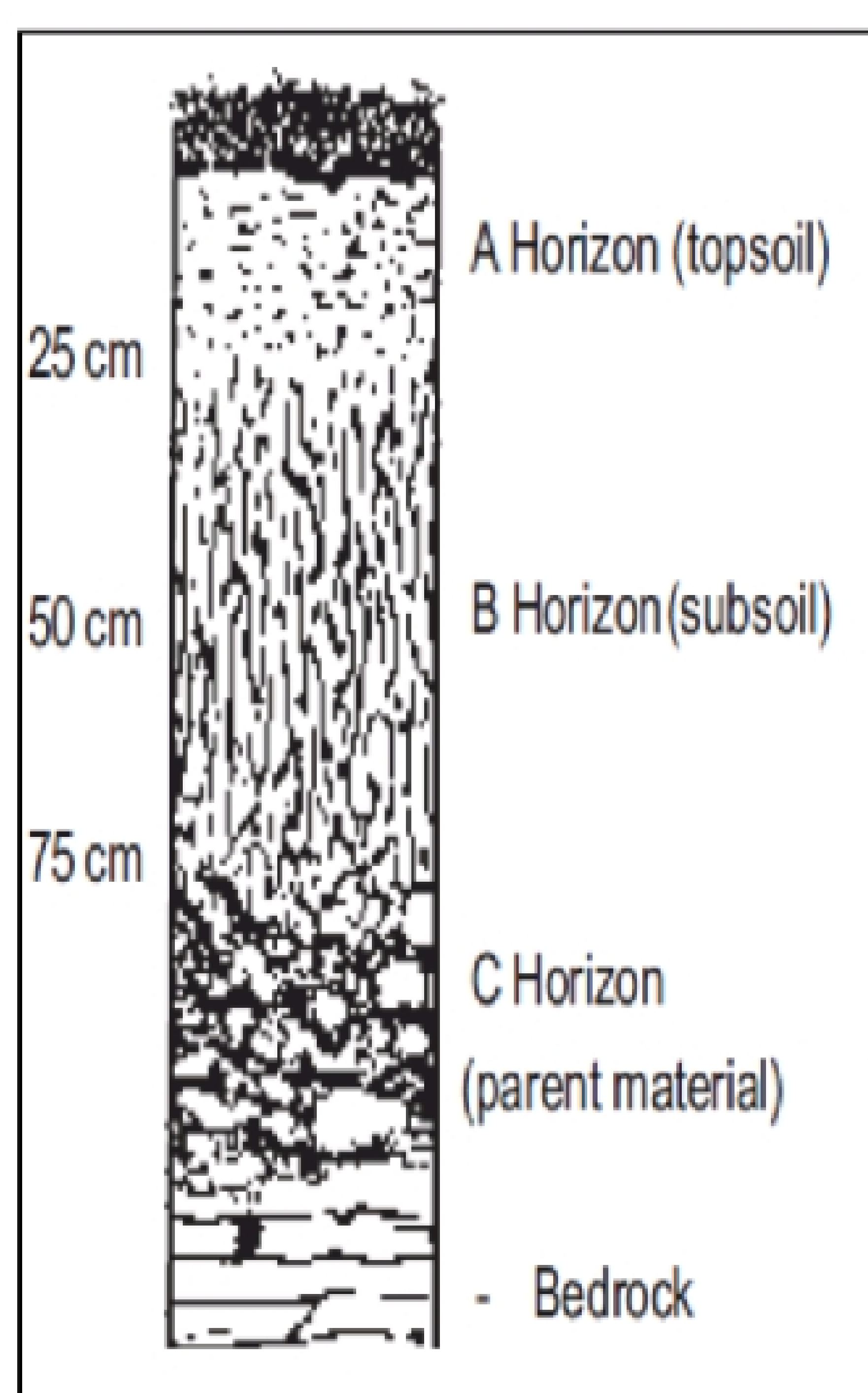
وورد في العهد القديم (فأنت ترابٌ وإلى الترابِ تعود) سفر التكوين، الإصحاح ٣: ١٩

وفي المصادر المسمارية النص (إلى يرجع صنع كل شيء لائق متقن فليكن الإنسان، ليكن من الطين، لتدب فيه الحياة من الدم).

تعريف التربة



هي الطبقة السطحية الهشة أو المفتتة التي تغطي سطح التربة، وتتكون من مواد صخرية مفتتة خضعت من قبل للتغيير بسبب تعرضها للعوامل البيئية (منها التجوية والتعرية) والبيولوجية والكيميائية، التربة مزيجٌ من المكونات العضوية والمعدنية التي تتألف منها، كما تعرف التربة أيضا باسم الأرض، وهي المادة التي اشتق منها كوكب الأرض الذي نحيا عليه اسمه، يرجع تاريخ بعض المواد التي تتكون منها التربة في كوكب الأرض إلى ما قبل الحقبة الجيولوجية الثالثة.



للتربة طبقات تعرف باسم أفاق Horizon، ويمكن تمييز ثلاثة أفاق لأغلب الترب، وهي

A هـذا الأفـق هـو سـطح التربـة إلى عمـق ٢٥ سـم ويمتـاز بالمادة العضوية، وهو المفضل لزراعة الخضر والزينة والنباتات الطبية الحولية

B هذا الأفق هو الوسط بين الأفقين من ٢٥-٥٠ سم

C هذا الأفق من ٥٠ إلى ١٠٠ سم وهو القريب من مادة أصل التربة. وقد يوجد أفقي D و E وهما، الأول الحصى (الزلط) والثاني صخور هو مادة الأصل. واستنادا إلى الآفاق يتكون لدينا ١٢ نوعاً من الترب.

تتكون التربة من عناصر معدنية رمل Sand ، وغرين (طمي) Silt ، وطين Clay، ومواد عضوية وفراغات تسع الماء والهواء، بنسب وتوزيع يوضحها الشكل المرفق....

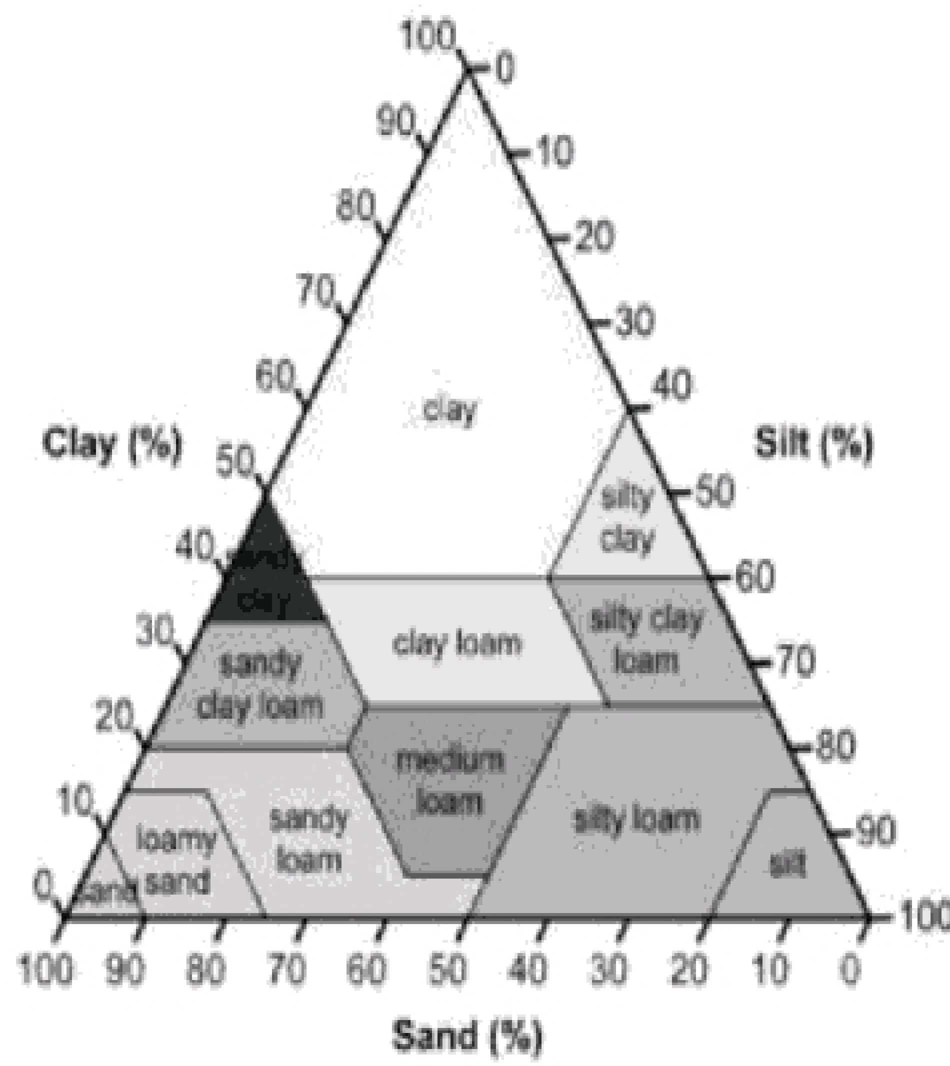
Sand	Silt	Clay
الرمل	الغرين	الطين
ما بين	ما بين	أقل من
٠,٠٦ – ٢,٠٠	٠,٠٠٢ – ٠,٠٦	٠,٠٠٢
مليميتر	Millimeters	

تقسم التربة إلى أقسام مختلفة تبعا لنسبة عناصرها المعدنية (رمل – غرين – طين). فحبيبات الرمل أكبر حجما، بينما الطين أصغر حبيبات التربة.

لحبيبات الطين قدرة على امتزاز (الامتصاص على السطح) الماء والعناصر الغذائية (Adsorption) لذا فإن وجود الطين يعطي التربة أهمية أكبر

وتطلق تسميات على أنواع التربة تبعا لنسب مكوناتها من الرمل والغرين والطين وأهم هذه الأنواع هي:

١. التربة الرملية Sandy Soil(التربة الخفيفة) تحتوي على أقل من ٢٠ % من وزنها غرين وطين، وهي جيدة الصرف والتهوية وقدرتها على الاحتفاظ بالماء منخفضة جدا

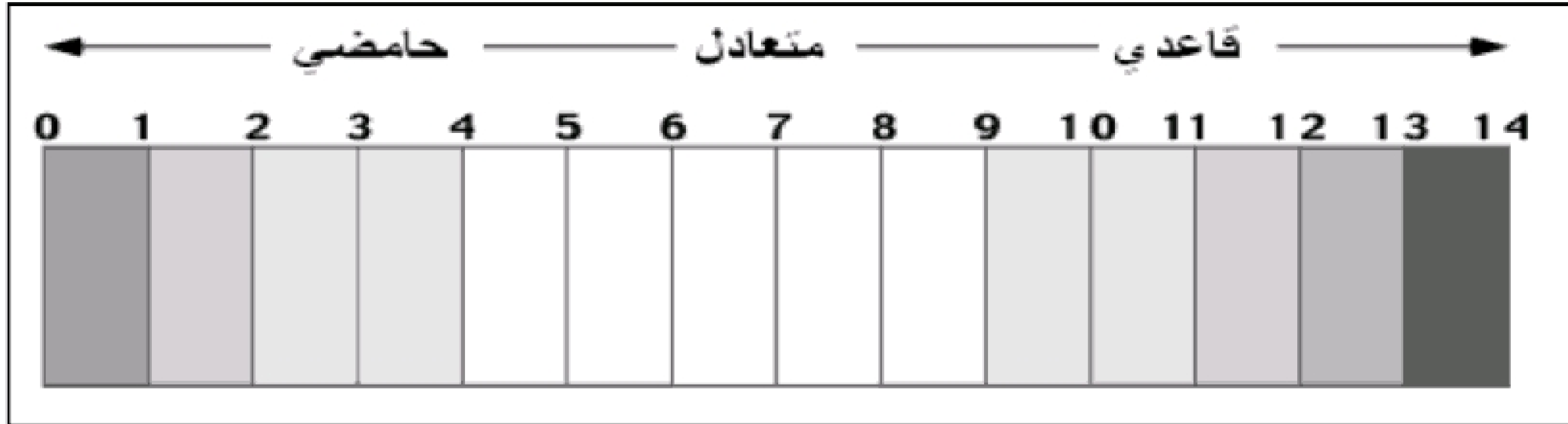


٢. التربة الطينية Clay Soil(التربة الثقيلة) تحتوي على الأقل ٣٠ % من وزنها طين، وهي رديئة التهوية ولكن سعتها الحقلية (قدرتها على الاحتفاظ بالماء) والغذائية عالية جدا

٣. التربة المزيجيه Loamy Soil (الصفراء) وتعد أفضل الأنواع وتتركب من نسب جيدة من الرمل والغرين والطين، فإذا احتوت على كمية أكثر من الطين عرفت بأنها تربة مزيجيه طينية (Clay Loam) أما إذا كانت كمية الغرين هي الغالبة عرفت بأنها تربة مزيجيه غرينيه (Silty Loam) ويمكن تعين صنف نسجة التربة (Soil texture) أي التوزيع النسبي لمجاميع الأحجام المختلفة لمفصولات التربة باستعمال مثلث النسجة.

pH التربة (مستوى الحموضة والقلوية)

الـ pH هو اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروجين الفعال في المحلول، وببساطة هو مقياس للحموضة أو القلوية، مدرج من ١ إلى ١٤، وأي قراءة فيه أقل من ٧ تعني المحلول حامضي، والقراءة التي تكون أكثر من ٧ تعني أن المحلول قاعدي، والقراءة ٧ تعني أن المحلول متعادل. المدى المثالي للـ pH في محلول التربة يتراوح بين ٦ إلى ٨، وارتفاع أو انخفاض الـ pH يؤثر على قدرة النبات على الاستفادة من العناصر الموجودة في محلول التربة.



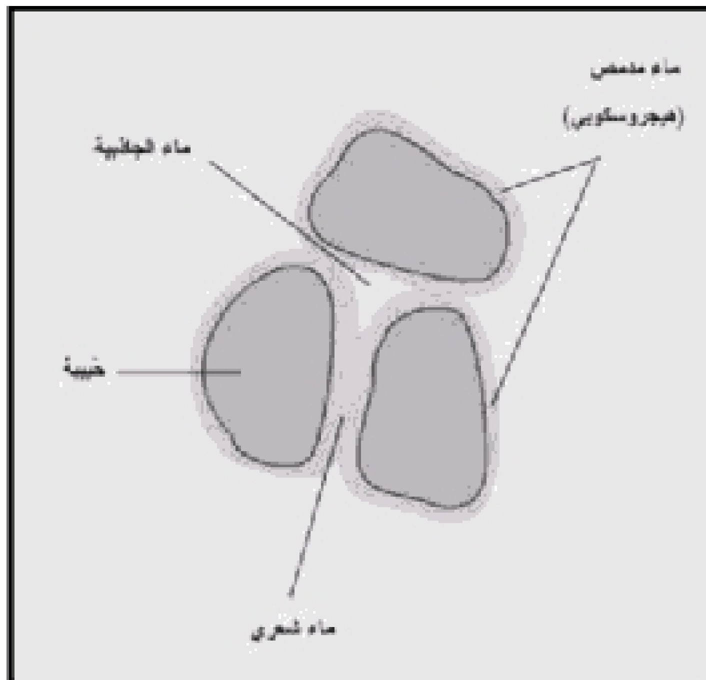
ماء التربة Soil Water

يعد الماء أهم مقومات الحياة على سطح كوكب الأرض ويؤلف جسر الاتصال في منظومة (التربة ـ الماء ـ النبات). يصنف ماء التربة إلى ثلاثة أشكال على النحو الآتي:

أ. الماء الهيد وسكوبي Hygroscopic Water

هو جزء من ماء التربة، على شكل أغشية رقيقة حول حبيباتها، ويكون مرتبطا بأسطح هذه الحبيبات بقوة كهروستاتيكية كبيرة جدا، تحول دون قدرة جاذبية التربة على تحريكه إلى الأسفل، لا تمتصه جذور النبات، ولا بد التخلص من هذا الماء، من خلال تجفيف التربة عند درجة حرارة ١٠٥ درجات مئوية، مدة أربع وعشرين ساعة للحصول على تربة جافة تماما.

ب. الماء الشعري Capillary Water



هو جزء من الماء المحتفظ به في التربة وخاصة في المسام الرفيعة، ويكون ممسوكاً في هذه المسام بقوة اقل من الماء الهيدروسكوبي تحول دون قوة جاذبية التربة على تسريبه إلى الأسفل، ويرجع هذا الماء إلى أغشية هلالية Meniscus تكونها زاوية تماس الماء وجدران الأنبوب وانحناء هذه الأغشية الهلالية يكون أكبر (أي أن نصف قطر الانحناء يكون أصغر) كلما ضاق الأنبوب، لذلك كلما كان الأنبوب ضيقاً ازداد مقدار ارتفاع الماء في الأنبوب الشعري عن مستوى الماء الحر، ويكون الماء الشعري ممسوكا في مسام التربة على مدى كبير من قوة الشد، فإن جزءا منه يكون ميسراً لتمتصه جذور النبات. أما الجزء الآخر، فيكون ممسوكاً بقوة شد أكبر، تعجز النباتات عن امتصاصه يسمى بالماء غير الميسر، وهما.

١. الماء الميسر Available Water

هو الجزء من الماء الشعري الذي تقل قوة شده، في المسام الشعرية، ويعرف بأنه الفرق بين السعة الحقلية Field Capacity وبين نقطة الذبول الدائم Permanent Wilting Point، ويتحكم في نسبة الماء الميسر في التربة، قوام التربة والمادة العضوية

٢. الماء غير الميسر Unavailable Water

هو الماء الذي يكون ممسوكاً في مسام التربة بقوة شد أكبر مما يستطيع النبات امتصاصه، عند نقطة الذبول الدائم، وهي النقطة التي يصبح عندها الماء في التربة غير ميسر للنبات وإن كان بعضه يستطيع استخلاصه وخاصة النباتات الصحراوية

ج. الماء الحر (ماء الجاذبية) Gravitational Water

الماء الذي يكون في المسام الكبيرة للتربة بعيدا عن أسطح المعادن، لا يكون ممسوكاً بقوة شد أكبر من قوة جاذبية التربة، لذلك فهو حر الحركة وتكون حركته إلى الأسفل استجابة لجاذبية التربة ليترك المسام الكبيرة في التربة ممتلئة بالهواء اللازم لتنفس جذور النبات. ويفضل هذا الماء في الزراعة

العوامل المؤثرة على حركة الماء

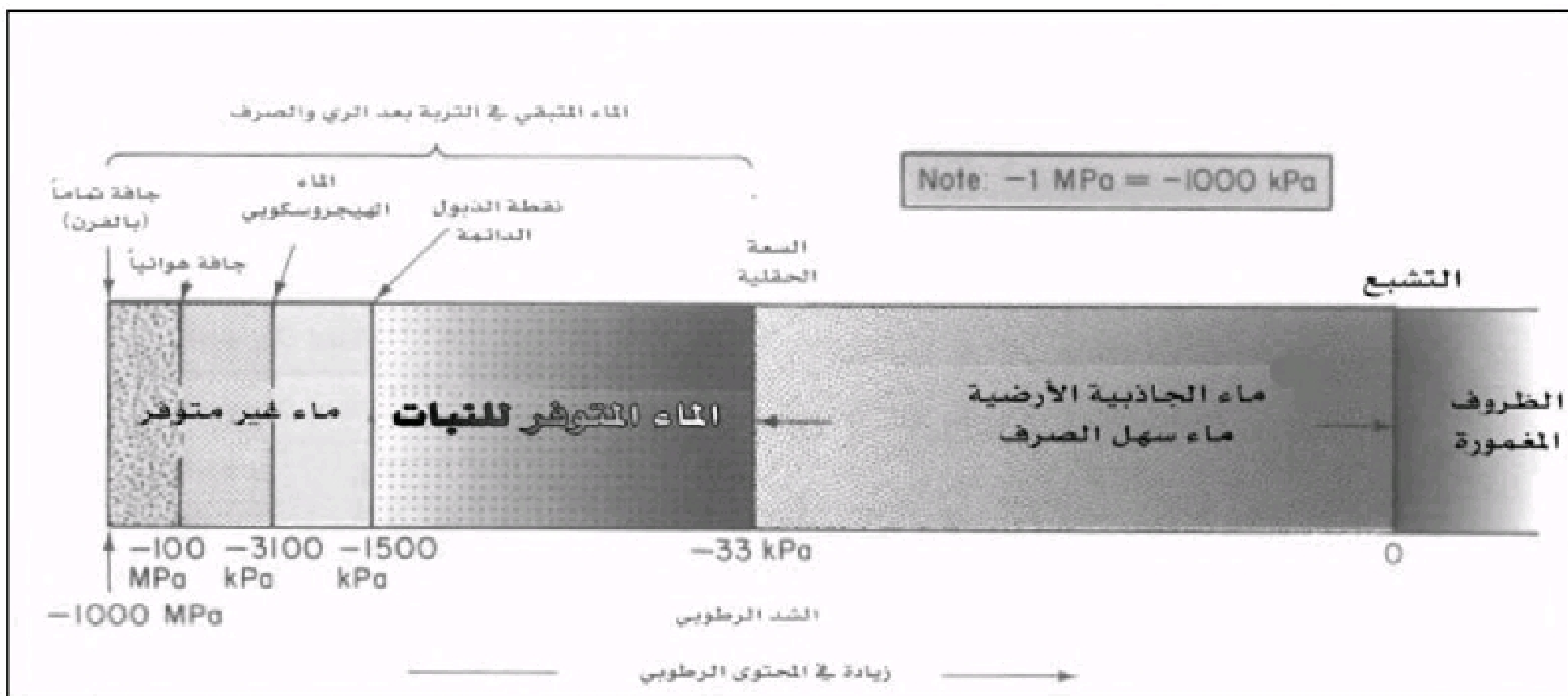
١. قوام التربة (% للحبيبات المختلفة الأحجام) في الطبقات المختلفة لقطاع التربة
٢. بناء التربة متضمنا نسبة التجمعات الثابتة
٣. المحتوى المائي للتربة
٤. نسبة المادة العضوية في التربة
٥. عمق مستوى الماء الأرضي
٦. عمق الطبقات الصماء قليلة النفاذية للماء
٧. المحتوى المائي للتربة
٨. درجة حرارة التربة والماء
٩. وجود التشققات
١٠. عمليات الخدمة الميكانيكية وتفكيك التربة
١١. طريقة إضافة الماء

مصادر مياه الري: مياه الأنهار والأودية، ومياه الأمطار، ومياه الآبار (جوفية أو سطحية)

طرق الري: الري السطحي (سواءً كانت جداول أو أحواض)، الري تحت السطحي (غير مناسب للمناطق الجافة)، والري بالرش، والري بالتنقيط

موعد الري: عند استهلاك ٥٠٪ من الماء الميسر

اختبار نوعية مياه الري: من خلال دراسة، التوصيل الكهربائي (تركيز الأملاح الكلي)، وتركيز البورون، ونسبة الصوديوم المدمص



هواء التربة Soil Air

ويسمى الهواء الأرضي ويسمى الطور الغازي، ويتواجد في المسامات بجانب الماء، وهو يشكل في الحالات المثلى ٢٥٪ من التربة، ويختلف تركيبه عن الهواء الجوي وكما يلي

التركيب ٪	N_2	O_2	CO_2
الهواء الجوي	٧٩.٠	٢٠.٧٩	٠.٠٣
الهواء الأرضي	٧٩.٢	٢٠.٤٠	٠.٢٥

العوامل المؤثرة على تركيب هواء التربة



١. المخلفات العضوية، من خلال نشاط الكائنات الحية في التربة
٢. عمق التربة، يقل الهواء مع العمق
٣. فصول السنة، يزداد الهواء في فصل الصيف
٤. ماء التربة، يقل الهواء مع زيادة ماء التربة

يوجد هواء التربة في نوعين، هما

١. الهواء الذي يشغل المسامات ٢. الهواء الذائب في ماء التربة

تأثير هواء التربة على النشاط الحيوي

١. عند انخفاض كمية الهواء يقل نشاط الكائنات الحية وبالتالي يقل تحلل المادة العضوية

٢. النباتات الراقية، يقل امتصاص المغذيات عند الظروف اللاهوائية وبالتالي تشجع تكوين مواد سامة

٣. الأوكسجين في الظروف الهوائية ضروري لتنفس الجذور

٤. وتكوين ثاني أوكسيد الكاربون يساعد على إذابة بعض مركبات التربة، حيث يتكون من اتحاد الماء مع ثاني أوكسيد الكاربون حامض الكربونيك

حرارة التربة



تنمو النباتات عندما تكون درجة حرارة الجو ٤ م° وعندما تزداد درجة الحرارة يزداد النمو إلى أن تصل إلى ٣٥ م° حيث يبدأ الانخفاض في إنتاج المحاصيل، على أن درجة الحرارة (١٥–٢٥ م°) من الدرجات الأكثر ملاءمة لجميع النباتات، تتأثر حرارة التربة بـ

كثافة التربة ٢. ماء التربة ٣. لون التربة ٤. الغطاء النباتي ٥. العوامل الجوية ٦. الموقع والتضاريس

لون التربة Soil Color

هي صفة واضحة للعيان، ويدل اللون على

١. نسبة الرطوبة ٢. كمية المادة العضوية ٣. العناصر الغذائية المعدنية



والعوامل المؤثرة على لون التربة

١. وجود المعادن وحالة التأكسد والاختزال فيها

٢. محتوى التربة من المادة العضوية ودرجة التحلل

٣. حالة الرطوبة وحالة الجفاف وصرف التربة

للترب ألوان عدة، كل لون له دلالة معينة

١. الترب البيضاء، وفيها كربونات الكالسيوم هي الغالبة فيه، مع أن الترب المالحة بيضاء أيضا
٢. الترب السوداء، وفيها المادة العضوية وخصوصا المتحللة
٣. الترب الحمراء، وفيها أكاسيد الحديد
٤. الترب الصفراء، وهي الترب الصحراوية التي يغلب عليها كمية الرمل
٥. الترب الخضراء، وفيه عنصر المنغنيز هو الغالب
٦. الترب المزرقة، دلالة على سوء الصرف وتغدق التربة
٧. الترب الرمادية، تدل على وجود الكوارتز وكربونات المغنيسيوم

وعلى العموم فان الترب الغامقة هي الأكثر إنتاجا من الترب الكاشفة، ويعين لون التربة من خلال خواص الضوء الأساسية الثلاث وهي

١. هيو Hue ويتعلق بطول الموجة الضوئية
٢. فاليو Value وهو السطوع أو اللمعان حيث يتعلق بكمية الضوء
٣. كروما Chroma ويدل على النقاوة النسبية للموجة الضوئية

هذه الخواص الثلاث وضعت في كتاب للألوان، أول من وضعها العالم منسل Munsell، فمثلا 10YR 6/3 تدل 10YR على الهيو و6 تدل على الفاليو و3 على الكروما

الكائنات الحية في التربة



تقسم إلى نوعين

١. أحياء مجهرية، مثل البكتيريا، بعض الفطريات، الطحالب
٢. أحياء غير مجهرية، دودة التربة، الحشرات، العناكب، القوارض

للكائنات الحية دور مهم في التربة، فهي

١. تقوم بأكسدة واختزال بعض العناصر الغذائية لكي تصبح صالحة لامتصاص النبات
٢. بعض الكائنات الحية تثبت النتروجين الجوي وتزيد من كميتها في التربة
٣. تحلل البقايا النباتية وغيرها وتمنع تراكمها ينتج من عملية التحلل عناصر يحتاج إليها النبات

٤. الديدان والقوارض تبتلع التربة والمواد العضوية أثناء غذائها ومن ثم تخرج هذه المواد إلى الآفاق السفلى من التربة

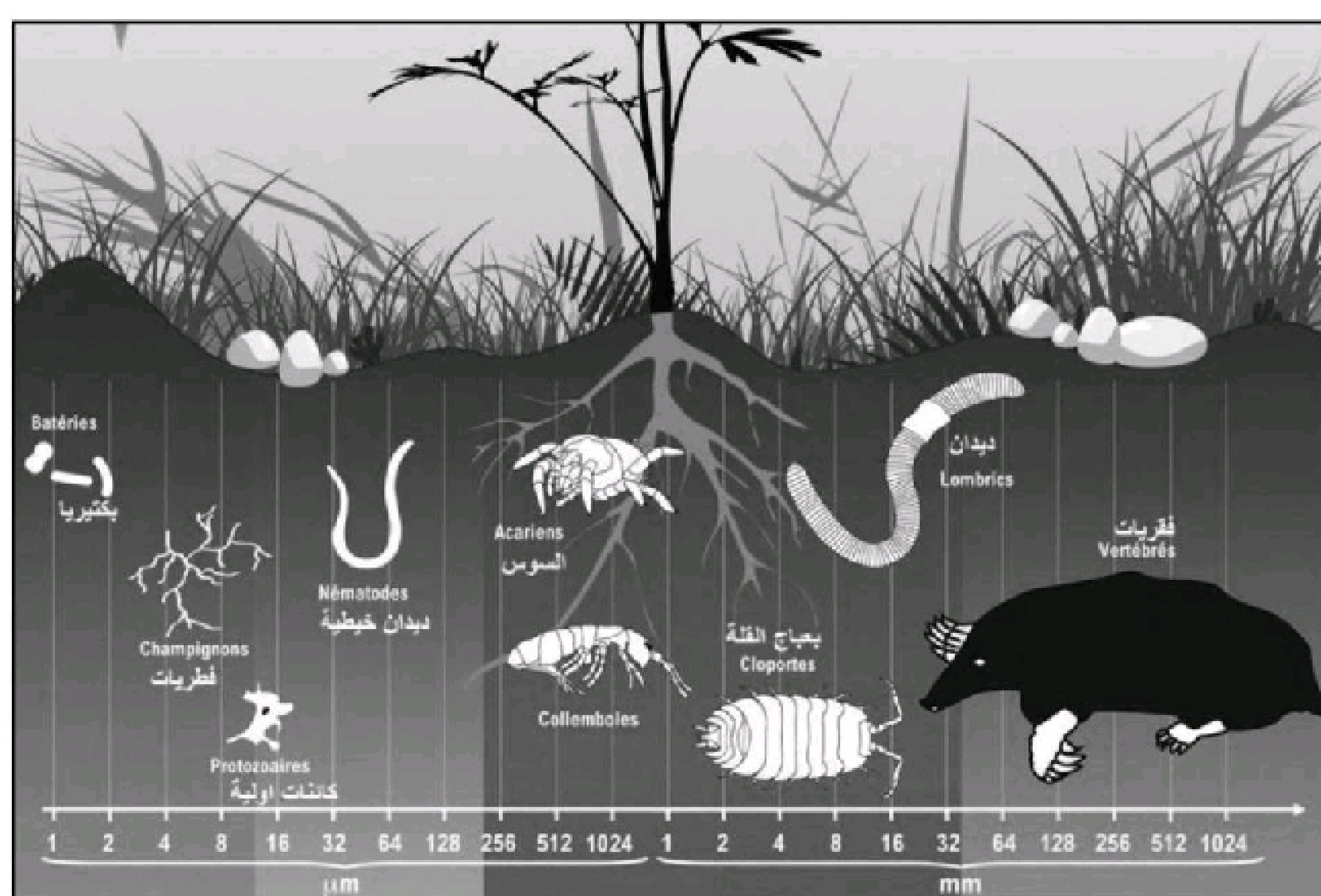
٥. الدبال يعتبر من أهم النواتج النهائية لنشاط الكائنات الدقيقة في التربة

٦. بعض الكائنات الحية الدقيقة تفرز مواد حيوية مفيدة للإنسان مثل، البنسلين كما أن بعض منها لا تكون سامة أو ذات أثر ممرض على النبات

الكائنات الحية

أولاً : البكتيريا

كائنات وحيدة الخلية مجهرية الحجم تختلف في شكلها من المستديرة إلى الحلزونية إلى العصوية، وعادة ما يسود الشكل العصوي في التربة، أكبر عدد منها توجد على الطبقة السطحية من التربة وتقل في العمق، أهميتها للتربة تقوم بدور كبير في تحليل المادة العضوية في التربة وكذلك في عملية تثبيت النتروجين وأكسدة الكبريت، ونشاطها في التربة يعتمد على



١. درجة الحرارة

٢. التهوية

٣. درجة pH الوسط

٤. الرطوبة

٥. المادة العضوية

ثانيا: فطريات التربة

كائنات وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا، تنتشر في الترب الحامضية أكثر، تؤثر عليها عوامل عدة، حيث تزداد بزيادة المادة العضوية وبزيادة الرطوبة والتهوية كما تفضل درجة الحرارة المنخفضة، قد تكون صغيرة جداً لا ترى إلا تحت المجهر كالبنسليوم، أو ترى بالعين المجردة مثل عيش الغراب والكمأة.

00:01:31

حصر وتصنيف الترب

حصر الترب، هو العلم الذي يهتم بجرد كامل ودقيق لجميع خواص التربة، نتائج الحصر تستخدم للأغراض التالية

١. تخطيط وتنفيذ المشاريع الزراعية والمحافظة عليها
٢. اختيار أنسب الآلات الزراعية للخدمة في التربة
٣. المحافظة على خصوبة التربة وزيادتها
٤. تعتبر الأساس في وضع شبكات الري والصرف
٥. تستخدم في إنشاء الطرق والمطارات

أنواع الحصر: يوجد ٣ أنواع رئيسيه

أولاً : الحصر الاستكشافي للترب، يتم فيه حصر مبدئي لمناطق شاسعة من أجل تحديد المصادر المائية والتربة ومدى ملاءمتها لغرض زراعي أو صناعي، مقياس الرسم: من ١- ٥٠٠٠ أو أكثر

ثانياً : الحصر النصف تفصيلي للترب، وهو حصر الترب الذي أثبت الحصر الاستكشافي جودتها وذلك من أجل تحديد الصفات الأساسية لأنواع التربة ومدى الإمكانية الزراعية وكذلك لدراسة الجدوى الاقتصادية، مقياس الرسم من ١- ٢٥٠٠٠ أو أكثر وأقل من ٥٠٠٠٠

ثالثاً : الحصر التفصيلي، هو حصر الترب التي درست نصف تفصيلية وأثبتت التحليل إمكانية تنمية زراعة فيها وفيه توضع بيانات تفصيلية عن الترب، مقياس الرسم :١-١٠٠٠٠ أو أكثر

تقسيم وتصنيف الترب الزراعية: وهي عبارة عن تبويب الترب في مجموعات ترتبط بخواص مشتركه داخل كل مجموعة، يوجد عدة تصانيف قديمة وحديثة، من التصانيف الحديثة (التصنيف الأمريكي للترب)، ويحتوي هذا النظام للتصنيف على ٦ مستويات

١. الرتبة
٢. تحت الرتبة
٣. المجموعة العظمى
٤. تحت المجموعة
٥. العائلة
٦. سلسلة التربة

يبدأ بالمستوى الأعلى للتصنيف في قمته ثم يتسع نحـو قاعدتـه معطيـاً تفصـيلات أكثـر، وهـذا التصـنيف يعتمـد علـى صـفات الـترب الزراعيـة المشـاهدة في الحقـل أو مـن نتـائج التحليـل في المختبر، ويوجد حاليا ١٢ رتبه.



مادة التربة العضوية

تعرف المادة العضوية في التربة Soil Organic Matter بأنها تجمع مخلفات النباتات والحيوانات والإنسان في التربة وبدرجة تحلل مختلف، المتحللة منها يكون لونها بني إلى اسود وهذه المواد عادة لا يمكن أن يستدل منها على الأصل الذي تكونت منه والتي تعرف بالدبال Humus، وهي مرحلة تحلل متقدمة، تفيد النبات جدا، ويعتقد أنها المرحلة التي تسبق تكوين (النفط).

إذا مصادر المادة العضوية تتنوع من

١. نباتية متأتية من جذور النباتات والأوراق المتساقطة على سطح التربة والتي تمر بمراحل تحلل بيولوجي بفعل الأحياء المجهرية

٢. نباتات تزرع لتقلب في التربة مثل نباتات السماد الأخضر والمخلفات النباتية التي تضاف إلى التربة لزيادة إنتاجيتها وتحسين صفاتها

٣. مصادر حيوانية تأتي نتيجة فعاليات أحياء وحيوانات التربة ومخلفاتها وخلاياها وأنسجتها بعد موتها

٤. مخلفات الإنسان المضافة إلى التربة.

تتكون التربة بصورة عامة من ثلاثة أطوار هي الطور الصلب والسائل والغاز وتدخل المادة العضوية ضمن الطور الصلب للتربة والذي يشكل نسبة ٥ % من التربة، وقد تزداد النسبة في الترب العضوية لتصل إلى ٢٠%، وتوجد الترب العضوية في مناطق مختلفة من العالم ولكنها أكثر انتشار وكثافة في المناطق الباردة الرطبة. تختلف نسبة المادة العضوية في التربة من مكان لآخر حسب المعاملات الزراعية والإضافات العضوية والمناخ السائد في المنطقة. واعتبرت التربة الزراعية التي تحتوي ٢% فما فوق من وزنها مادة عضوية من الترب الغنية بالمادة العضوية. واعتبرت التربة الزراعية التي تحتوي ١-٢ % من وزنها مادة عضوية من الترب ذات المحتوية المتوسط من المادة العضوية. واعتبرت التربة الزراعية التي تحتوي على أقل من ١% من

وزنها مادة عضوية من الترب الفقيرة بالمادة العضوية، مثل ترب المناطق ذات المناخ الجاف وشبه الجاف والمناطق الاستوائية والسبب يعود إلى

١. ارتفاع درجات الحرارة في الصيف
٢. قلة سقوط الأمطار مما يؤدي إلى حدوث أكسدة سريعة للمادة العضوية
٣. سوء استعمال المخلفات النباتية والحيوانية في استعمالات أخرى كوقود للتدفئة والطبخ أو في تغذية الحيوان بالنسبة للمخلفات النباتية بدلا من إعادتها للتربة واستعمالها كسماد ومصلح للتربة.

ونتيجة لهذا الدور المهم تأتي المادة العضوية من مصادرها المختلفة، تستعمل كأسمدة عضوية لزيادة الإنتاج كماً ونوعاً وكمصلح للتربة بحيث يمكن تلخيص دورها الفعال في الترب بما يأتي

١. زيادة خصوبة التربة المراد زراعتها
٢. تزيد من ذوبانية المعادن في التربة
٣. مادة أساس لتطوير الأحياء الدقيقة
٤. تخفيف شدة وثقل التربة الطينية
٥. تساعد التربة الرملية في حفظ الرطوبة والمغذيات
٦. تقلل من استعمال الأسمدة الكيميائية والتلوث الناتج من استعمالها
٧. تقلل الحاجة إلى استعمال الطاقة
٨. طريقة أمينة لجمعها وتحللها، والاستفادة منها
٩. المحافظة على جودة النظام البيئي

ملوحة التربة Soil Salinity

- تحتوي طبقة الليثوسفير (Lithosphere) على (٢.٨ %) وزناً و(١.٣٢ %) حجماً من الصوديوم، بمدى واسع في الترب يتراوح بين (٧٥٠-٧٥٠٠) ملغم. كغم$^{-1}$
- الترب المتأثرة بالأملاح تنتشر بشكل كبير على سطح كوكب الأرض، حيث تغطي حوالي (١٠%) من مجموع اليابسة. والصوديوم هو السابع ضمن العشرة عناصر الأكثر وجوداً في التربة وان تسلسله في التربة هو $O > Si > Al > Fe > Ca > K > Na > Mg > Ti$

إن محتوى التربة وصخور القشرة الأرضية من الصوديوم هو (٧٠٠٠ – ٢٣٠٠٠ ملغم. كغم$^{-1}$) على التوالي، هذه المديات الواسعة للصوديوم في التربة تعكس سهولة تجوية المعادن الحاملة للعناصر القلوية تبعاً لتركيب الأم والتجوية.

- إن تركيز الصوديوم يزداد في الترب المزيجية الغرينية مقارنة مع المزيجية الطينية
- المصادر المعدنية للصوديوم هي

١. السلكيات الألمنيومية ومنها الالبايت Albite ($NaAlSi_3O_8$)

٢. معادن الكربونات الحاملة للصوديوم تشمل كلاً من Nahcolite ($NaHCo_3$)، اترونا ($Na_3H(Co_3)_2.2H_2O$) والصودا $Na_2Co_3.10H_2O$.

٣. ويمكن أيضا أن يوجد الصوديوم في الطبيعة في صورة كلوريدات وكبريتات وبورات

- إن معدل محتوى الصخور النارية من الصوديوم هو (٣٠ غم. كغم$^{-1}$) بينما يصل محتوى الترسبات المعدنية للصوديوم في مياه الأنهار إلى (٩٥ غم. كغم$^{-1}$). وان الصوديوم هو ضمن المجموعة الثانية للأيونات حسب قابليتها للحركة والأغسال لان عملية استخلاص الأيونات من الصخور خلال عمليات التجوية ليست واحدة.
- إن أكثر الصور وجوداً للصوديوم في محاليل الترب الحامضية هي بصورة أيونات حرة Na^+ بينما يكون في الترب القلوية على صورة معقدات للكربونات والكبريتات $NaSO_4^-$، $NaHCO_3$ فضلاً عن الأيونات الحرة مع العلم أن جميع هذه الصور تعتمد على رقم تفاعل المحلول إلى حد كبير.
- محتوى المياه من الصوديوم، في مياه الأنهار والبحار هو (٦.٣، ١٠٥٠٠) ملغرام/لتر. ومعدل تركيز الصوديوم في مياه الإمطار لا يتجاوز ٠.٥ ملغرام/لتر أما فيما يتعلق بالمياه الجوفية فان تركيز الصوديوم في أربعة آبار كانت (٢٧.٤٧، ١١.٦٥، ١٤.٥٧، ٣٩.٥) ملليمول/لتر
- ملوحة التربة Soil Salinity هي ارتفاع مستوى الملح في التربة، وتكون التربة مملحة بسبب تراكم الأملاح الزائدة، وعادة تكون أكثر وضوحا للعيان على سطح التربة. تنتقل الأملاح إلى سطح التربة عن طريق ناقلات شعرية طبيعية وتكون محملة من المياه الجوفية المالحة، ثم تتراكم بسبب التبخر، ويمكن أيضا للملوحة أن تكون كثيفة في التربة بسبب النشاط البشري. عندما ترتفع ملوحة التربة ترتفع الآثار السلبية للملح التي يمكن أن يؤدي إلى تدهور التربة والنباتات.
- وللتفريق بين الترب الملحية والصودية غير الملحية والصودية الملحية إليكم، الجدول (٢)

الجدول ٢: الترب الملحية والصودية غير الملحية والصودية الملحية

التربة	pH	Ec Ds/m	ESP
الملحية	اقل من ٨.٥	اكبر من ٤	اقل من ١٥
صودية غير ملحية	اكبر من ٨.٥	اقل من ٤	اكبر من ١٥
صودية ملحية	اقل من ٨.٥	اكبر من ٤	اكبر من ١٥



الفصل الثاني
مكونات النبات

تختلف أنواع النباتات الموجودة في كوكب الأرض، فمنها ما هو مثمر، ومنها ما هو للزينة. ومنها ما نراه على سطح التربة، ومنها ما تتواجد في البحار، ويقدر عدد النباتات الموجودة على سطح التربة بأكثر من ثمانية ملايين نوع. وكما أن لكل شيء في هذا الكون فائدة فإن هذه النباتات تمدنا بالعديد من الفوائد التي قد نلمس بعضها، وبعضها الآخر يكون غير ظاهر. وعلى الرغم من التقدم العلمي ودراسة العلماء لفوائد النباتات الكثيرة، فلا زال هناك فوائد لم يصل إليها العلم بعد.

فوائد النباتات

بإمكاننا إيجاز بعض فوائد وجود النباتات على سطح التربة:

الفوائد البيئية

- للنباتات أهمية في عملية التمثيل الضوئي، حيث تقوم بامتصاص ثاني أكسيد الكربون وإنتاج الأكسجين اللازم لحياة جميع الكائنات الحية، وبالتالي المحافظة على نسبهما ثابتة.
- الحد من حركة الرياح القوية، وتوزيع الأمطار على التربة.
- تساعد النباتات على التخلص من الغازات السامة والغبار أيضا.
- منع الانحباس الحراري.
- تمنع سطح الأرض من انجراف التربة والتعرية.
- تحافظ النباتات على رطوبة التربة من خلال تخزين المياه في جذورها وسيقانها.
- الحفاظ على توازن البيئة وإعادة تدوير العناصر الغذائية ، وحماية التربة من خطر التصحُّر.

الفوائد المباشرة للإنسان

١. تعتبر النباتات مصدرا غذائيا مهما لكل من الإنسان والحيوان على حد سواء، فهي تحافظ على الحيوانات من الانقراض نظرا لاعتماد الكثير من الحيوانات على النباتات في غذائها، وفي النهاية الإنسان يعتمد على هذه الحيوانات في جوانب عدة، تحتوي النباتات على معظم العناصر الغذائية والفيتامينات والألياف اللازمة لجسم الإنسان.

٢. تستخدم في إنتاج العطور. استخدام خشب الأشجار في صنع الأثاث، وبناء المنازل وصنع السفن، كما تستخدم للتدفئة.

٣. بعض النباتات تنتج مواد تستخدم في تصنيع الملابس مثل القطن.

٤. تستخدم النباتات في الصناعات الدوائية، وقد استخدمت بعض أنواع النباتات مؤخراً في إنتاج عقاقير لمعالجة سرطان الثدي وسرطان الرئة، وغيرها من أنواع السرطانات.

٥. هناك العديد من المجتمعات التي تعتمد على الزراعة، لذلك فهي مصدر للكسب أيضا.

٦. تستخدم في صناعة الورق.

٧. إضفاء الجمال للحدائق والمتنزهات للاستمتاع بجمال الطبيعة، من خلال زراعة الأزهار ونباتات الزينة الجميلة.

٨. تدخل في صناعة الدهانات، ويصنع منها الصمغ.

٩. تستخدم في منتجات التجميل.

١٠. صنع الأعلاف للدواجن.

مكونات النبات

تتركب المادة الحية للخلايا النباتية من عناصر وجزيئات مشابهة لبقية المواد الحية في الكائنات الأخرى (البكتريا، الحيوانات وغيرها) مما يدل على عمق وحدة المحيط الحيوي Biosphere الذي يتكون من كائنات متقاربة وراثياً وقادرة على التكاثر والتناسل عبر مسيرة التطور، ورغم ذلك فإن النباتات تنفرد بمميزتين حيويتين أساسيتين هما:

١. تحاط الخلية النباتية بغلاف من السيللوز وتدخل الجلوسيدات بكميات كبيرة في تركيبها.

٢. تتميز الخلية النباتية بقدرة متطورة على التركيب الحيوي Biosynthesis تستطيع معها أن تعيش مستقلة ذاتياً في وسط معدني من دون أي تبادل مع أي كائن حي آخر.

فالنباتات الراقية النامية في المحيط الهوائي وعلى تربة غنية بالنترات يمكنها أن تدخل الفحم والنتروجين والماء والكبريت والفوسفور وغيرها في جزيئاتها العضوية المختلفة، أما الطاقة اللازمة لعمليات التركيب الحيوي فتتزود بها مباشرة من الأشعة الشمسية، وهذه الحالة لا توجد في الكائنات الحيوانية. تدخل في تركيب النباتات عناصر معدنية تسهم في نشاطاتها، وتدل الدراسات على عدم وجود تناسب بين كمية العنصر

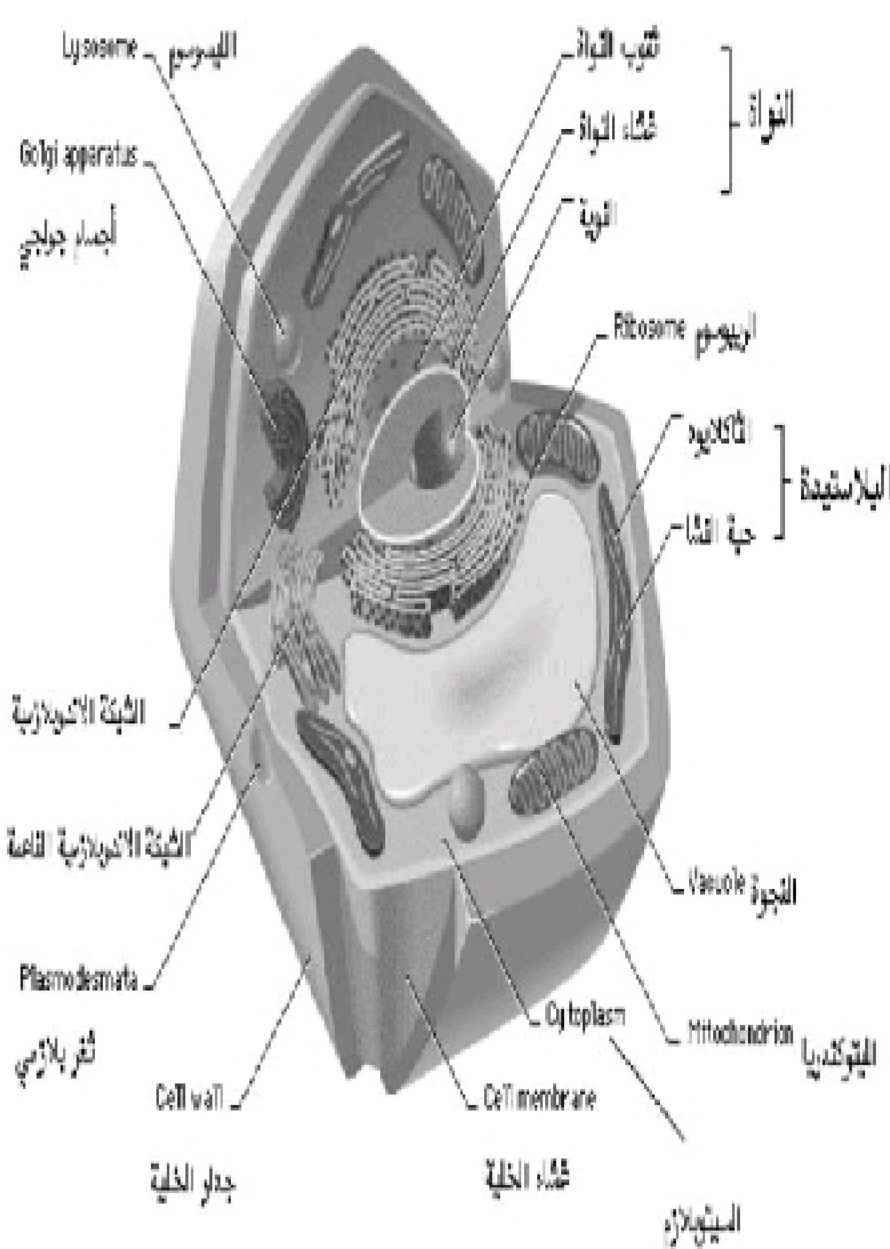
في الوسط الذي يتطور فيه النبات وبين أنسجته، ولتوفير احتياجات النباتات لابد من معرفة تركيبها، وتوضح التحاليل النباتية احتواء الأنسجة النباتية على العناصر الآتية:

١. تشكل العناصر الأربعة الأساسية: C,H,O,N أكثر من ٩٦٪ من المادة الجافة، ويحصل النبات عليها من الماء والهواء المشتمل على الأوكسجين والنتروجين وبتثبيت ثاني أكسيد الكربون الجوي بعملية التمثيل الضوئي ولا يمكن لأي نبات أن ينمو بغياب أحد هذه العناصر ولو توافرت العناصر الأخرى.

خلية النبات The plant cell

إنها أصغر جزء من الكائن الحي والذي يحتوي على الخواص والصفات المميزة للمادة الحية. والفكرة الشائعة أن الخلية هي الوحدة التركيبية والوظيفية الأساسية للحياة تسمى بنظرية الخلية

التركيب التشريحي للخلية



١ – النواة
٢ – السيتوبلازم
٣ – الشبكة الاندوبلازمية
٤ – الريبوسومات
٥ – الميتوكوندريا
٦ – البروتوبلازم
٧ – كولجي
٨ – الجسم المركزي
٩ – البلاستيدات
١٠ – الجدار الخلوي
١١ – الليسوسومات

جدار الخلية Cell Membrane

يفصل جدار الخلية محتويات الخلية عن البيئة المحيطة، وجدار الخلية يحتوى على فتحات صغيرة للغاية وهذه الفتحات تسمح بمرور الجزيئات الصغيرة جدا بجانب وظيفة الحماية. وجدار الخلية ذا محتوى عالي من الكالسيوم واللكنين (في أجزاء النبات كبيرة السن تكون مثخنة غنية بالكالسيوم) الذي يكون مرتبط بمجاميع الكربوكسيلية ولكنها ذات محتوى واطئ من NPK

النواة Nucleus

تحتوي النواة على نوعين من الأحماض النووية الأساسيـة

١. الحامض النووي الصبغي **DNA** **DeoxyriboNucleic Acid**

٢. حامض النووي الريبوزي **RNA** **RiboNucleic acid**

وظيفـة النواة

١. تلعب النواة دورا مهما في الانقسامات الخلوية لاحتوائها على المادة الكروماتينية.

٢. تساهم في تركيب الأنزيمات لاحتوائها على الـ DNA.

٣. تلعب دوراً في انتقال الصفات الوراثية لتحملها المورثات في سلم الـ DNA.

السيتوبلازم Cytoplasm

سائل هلامي لزج عبارة عن محلول غروي ويطلق عليه أيضا بالسيتوسول، وهي مادة حية تملأ الخلية، توجد خارج النواة وداخل غشاء الخلية والسيتوبلازم، وهو موضع أغلب أنشطة الخلية ويكون غني بـ NPK وتركيز واطئ من Ca

الفجـوة

١. تخزين المواد الأساسية اللازمة للنشاط التمثيلي للخلية وتخزين منتجات التمثيل الثانوية والمركبات الدفاعية للخلية والسامة وهكذا يحتوي العصير على مواد كالسكريات والأحماض العضوية والأملاح المعدنية والغازات والصبغات والقلويدات والدهون والتانينات وأحياناً البلورات.

٢. توفر محل لخزن مختلف العناصر الغذائية مثل Ca, Mg, K, NO_3, P وعناصر الأسموزية Na, Cl. تركيز العنصر في الفجوة يعكس الحالة الغذائية للنبات اذا كان عالي في فجوة الخلية معناها تجهيز جيد للنبات بالبوتاسيوم وهذا صحيح مع NO_3, P.

الأغشية Membranes

الأغشية الحيوية تتكون من أجزاء متساوية تقريباً من البروتينات والدهون وذات سمك يقرب من ٧-١٠ نانوميتر. تركيب الغشاء الحيوي هو تركيب شطائري (Sanswich Structure) من الدهن والبروتين، ولقد أصبح مقبولاً الآن بأن تركيب الغشاء الحيوي هو أكثر تعقيداً من التركيب الذي وضح مسبقاً، الجزيئات الأساسية التي تكون الأغشية الحيوية هي Amphiphilic وتعني وجود كل من Hydrophilic (مجاميع OH ومجاميع NH_2 ومجاميع الفوسفات ومجاميع الكربوكسيلية) ومناطق Hydrophobic (سلسلة من الكاربون الكهربائي المائي التي تتكون بشكل رئيسي من مجاميع CH_3- و CH_2) وهذه الصفات موجودة داخل الغشاء. إن أهم الدهون التي تتواجد في الأغشية الحيوية هو الفوسفولبيد (Phospholipids)، والكلايكولبد (Glycolipids) (الدهون السكرية) تسود في غشاء الكلوروبلاست الخارجي. الدهون الإسفنجية (Sphingolids) هي مكون مهم للأغشية الحيوانية، ومن المحتمل أن لا تكون ذات أهمية رئيسية في أغشية النبات. الأغشية تتكون من طبقتين من الدهون (طبقة مزدوجة) والتي تتكون من جزيئات Amphiphilic. الجزيئة لها نهايتان أو ذنبان (Two Lipidic Tails) يتكونان من سلسلة من الكاربون الكهربائي المائي، ولها رأس واحد من Hydrophilic وهو معقد من الفسفور والأمين (Phosphate Amino Complex). جزء الـ Hydrophilic للجزيئة أيضا يحمل شحنات موجبة وسالبة تحت ظروف درجة التفاعل الفسيولوجية. إن المحور النصفي للكلسيرول (Axis Of The Plycerol Moiety) يكون عموديا على الغشاء وان حلقة الـ Fatty Acid في الموقع C-2 تقع على سطح طبقة الدهون والسلسلة من الموقع C-3 تظهر خارج الغشاء إلى الجهة أو الطبقة المائية. الشحنات السالبة لمجاميع الفوسفات ربما تربط الكاتيونات، والتي من المحتمل أن تؤثر في طبيعة الدهون ونفاذية الغشاء، الكالسيوم مهم في المحافظة على ثباتيه الغشاء وانه ربما يربط مجموعتين من الفوسفات السالبة، طبقة الدهن الأحادية تتكون من طبقات من Amphiphltic تترتب بحيث أن رؤوسها تكون مسطحاً مستوياً، وفي طبقتي الدهون تكون النهايات بعضها باتجاه بعض. وفي كل منها تمثل طبقة الدهن سائلاً باتجاهين، طبقتا الدهن غير متماثلتين (Not Symmetrical) ولهذا تتواجد عدة أنواع من الدهون في الطبقتين، مجاميع الرأس تكون (Protrude) من جهتي الغشاء إلى الوسط الخارجي والداخلي، وفي حالة غشاء (البلازما لما) جدار الخلية أو الابوبلاست تكون الوسط الخارجي وان السايتوسول يكون الوسط الداخلي، إن ثبوتية

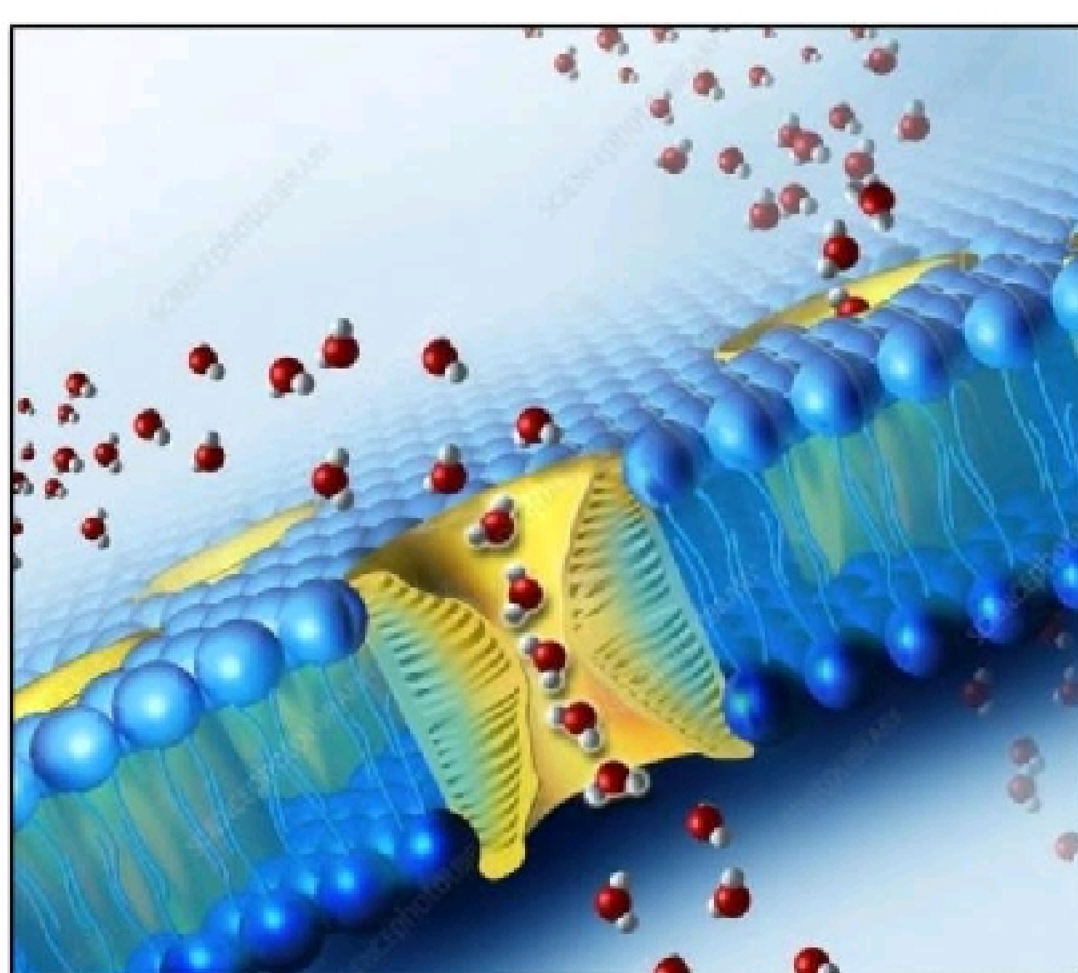
الطبقتين يكون من خلال ربط مجاميع الرأس بعضها بالبعض الآخر بواسطة روابط أيونية حيث أن أنيون (الأنيون هو أيون يحمل شحنة سالبة) الفوسفات يرتبط بمجموعة الأمين ذات الشحنة الموجبة العائدة لنوعية دهن هي Phosphatidyl Ethanol Amine، أيونات الكالسيوم أيضا تعمل على ثبات الغشاء بربط انيونين. سلاسل الأحماض الدهنية، المتكونة من دهون مختلفة لمجاميع Amphiphilic الغشاء، يرتبط بعضها بالبعض الآخر بروابط Hydrophohic والتي هي أيضا تشارك في درجة ثبات الغشاء، من هذه الأنواع لثبات الغشاء يمكن أن يؤشر بان درجة ثبوتية الغشاء يمكن أن تضعف أو تكسر بواسطة السوائل غير القطبية (Nonpolar Liguids) التي تمزق (Sever) أو تفصل روابط Hydrophobic، أو بواسطة درجة التفاعل المتطرفة مثل درجة تفاعل اقل من ٤ حيث يحل H^{+} محل Ca^{2+} كاسراً أو فاصلاً لجسر Ca^{2+} ومعادلة المجاميع الانيونية. درجات التفاعل العالية ربما تؤدي أيضا إلى عدم اكتساب البروتونات (Deprotonation) من قبل مجاميع الأمين، وهذا أيضا يمزق الروابط الانيونية للمجاميع المكتسبة للبروتونات، إن عدم ثبات الغشاء هذا يجعل الأغشية ناضحة مما يؤدي إلى فقدان المواد الذائبة من الخلية أو مكوناتها وهذا يؤثر سلباً ويضر بالفعاليات الحيوية. الأغشية البيولوجية لها معدل انقلاب (Turnover) أو إعادة تنظيم عال. نصف عمر Lecithin (Phosphatidyl CHoline) هو ما يقرب من ١٤ ساعة وان نصف عمر بروتينات الغشاء هو في مدى ٢-٤٠٠ ساعة. إن تركيب الأحماض الدهنية العائدة لدهون الغشاء يختلف باختلاف أنواع النباتات وانه أيضا يتأثر بالعوامل المناخية وبخاصة درجة الحرارة. التركيب ينظم مرونة الغشاء، حيث إن المرونة تزداد عندما تكون سلسلة الأحماض الدهنية قصيرة مع وجود الأحماض الدهنية غير المشبعة (Non Saturated Fatty Acids)، وتقل المرونة بوجود الأحماض الدهنية الطويلة المشبعة. إن مقاومة النبات لدرجة الحرارة المنخفضة ومثال على ذلك مقاومة البرودة (Cold Resistance) تعتمد على مرونة الغشاء حيث تزداد المقاومة بزيادة مرونة الأغشية. نعم النباتات ربما تتأقلم لدرجات الحرارة المنخفضة من خلال تغيير تركيب الحامض الدهني للغشاء الذي يثبت مرونة الغشاء. وبشكل مشابه أنواع النباتات التي يكون في أغشيتها جزء الأحماض الدهنية غير المشبعة كبيراً مثل نباتات السبانخ (Spinach) الذي ينمو بشكل جيد عند درجات الحرارة المنخفضة مقارنة بنبات الخيار الذي يتصف بجزء صغير من الأحماض الدهنية غير المشبعة في غشاء الكلوروبلاست. طبقة الدهون المزدوجة هي نسيج مصفوف (Mutrix) ينغمس فيه البروتين، معظم هذه البروتينات هي بروتينات

ناقلة، وقنوات بروتينية (Channel Proteins)، وبروتينات الجهد الردوكسي (Redox Proteins) ويمكن القول بأن معظمها بروتينات عبر الغشاء (Transmembrane Proteins) مع خيط (Strand) من الببيتيدات المتعددة يعبر طبقة الدهون المزدوجة من جهة إلى أخرى. وبشكل عام هذا الخيط يعبر طبقة الدهون المزدوجة عدة مرات مكوناً عقداً أو دوائر (Loop) على كلا الجانبين من الغشاء. النهايات الكاربوكسيلية للخيوط الببيتيدية الموجودة في السايتوسول، وكذلك يظهر نهاية الأمين في الوسط الخارجي، وهذه هي الحالة دائماً إذا كانت الببيتيدات المتعددة تضم عدداً فردياً للأجزاء عبر الغشاء أو عندما ينقل الجزء عبر الغشاء (Domains) الإشارات من الوسط الخارجي إلى السايتوسول وبالعكس.

إن جزء الخيوط الببيتيدية (Polypeptide Dtrand) عبر الغشاء تتكون من الأحماض الأمينية ذات المجاميع $-CH_3$ و CH_2 = (Hydrophobic) والتي هي سلسلة من الكاربون الكهربائي المائي التي تشكل روابط مع طبقة الدهون المزدوجة، وفي هذا الطريق بروتينات الغشاء تندمج بقوة في طبقة الدهون المزدوجة، إن الجزء عبر الغشاء يتضمن ما يقرب من ٢٠ حامض أميني، والتي تشمل خيطاً منفرداً من الببيتيدات المتعددة والذي يعترض (Transverses) أربع وحدات متشابهة كل منها يحتوي على ستة أجزاء عبر الغشاء (Six Domains)، ونهاية الأمين (Amino End) ونهاية مجموعة الكاربوكسيل (Carboxylic End) لخيط الببتيدات المتعددة وكلاهما موجود في السايتوسول، في بعض الجهات على أسطح طبقة الدهون المزدوجة الدوائر الكبيرة لخيط الببيتيدات المتعددة (Strand) تنشأ (Protrude) إلى الوسط الخارجي وإلى وسط السايتوسول، هذه الدوائر يفترض بأنها تمييز المواد الملاءمة للعبور عبر القناة أو أنها لربما تساعد في عملية الانتقال عبر القناة (Represented Two Dimensionally) علماً بان التركيب (Sterical Structure) لمثل هذه القنوات غير معروف بالضبط، فإذا كان الجزاءان عبر الغشاء الخارجيان والذي احدهما يحمل الأمين والآخر مجموعة الكاربوكسيل، قد سحب احدهما بقرب الآخر من خلال جعل الغشاء منحنياً (Bending The Membrane) فان ذلك سيكون شكلاً يشابه البرميل أو الأسطوانة، وفي هذا الشكل فان الأجزاء عبر الغشاء (Domains) ستمثل أضلاع البرميل، هذه القناة تسمح بعبور المالتوز والمواد المشابهة للسكريات المتعددة (Linear Polysccharides) وقطر القناة ٠.٥–٠.٦ نانوميتر وهي أيضا مشابهة لتلك القناة العائدة للكاتيونات. أن الأجزاء عبر الغشاء العائدة للببيتيدات المتعددة لها

تركيب بيتا (B Structure) ويعمل بشكل مضاد للنظير (Antiparallel). القناة الأيونية (Ion Channel) التي فيها ممات من Hydrophilic قد تكونت بواسطة أربع حزم لولبية أو حلزونية، قنوات البوتاسيوم تؤدي دوراً مهماً في نقل K^{+} في العمليات الحيوية للبنات، هذه القنوات هي أيضا مهمة جداً في الأنسجة الحيوانية وبخاصة في بيولوجية الجهاز العصبي (Neurobiology) لكونها تقوم بنقل الرسائل الكهربائية قنوات K^{+} هي الأبسط تركيباً من بين عائلة القنوات الأيونية، وتتصف بقصر سلسلة الببيتيدات المتعددة الخيطية. إن الشحنات الموجبة تشارك في دخول وخروج الفولتية (Voltage Gating)، وإن Aquaporins تشكل مجموعة أخرى من القنوات الغشائية المهمة والتي تم إيجادها في أغشية النبات والحيوان، وتتكون من خيط منفرد من الببيتيدات المتعددة مع ستة أجزاء عبر الغشاء مفترضة، الـ Aquaporins التي توجد في غشاء البلازما تحفز معدل جريان الماء عشر مرات أو أكثر وهي بذلك تحبذ انتقال الماء بالسيتوبلازم، هذه القنوات يمكن أن تنظم بواسطة عملية الفسفرة (Phosphory Lation) وتسمح بجريان الماء ولكنها تمنع مرور الأيونات والمواد الناتجة من الفعاليات الحيوية، الإيصالية المسائية عبر الخلايا يمكن أن تحسن خلال مدة نقص الماء من خلال مشاركة Aquaporins جديدة متكونة وتدمج بغشاء البلازما.

البروتينات الأخرى للغشاء تحتوي على نواقل مختلفة (Varioustran Sporters) وضخ أيوني (Ions Pumps) وحوامل (Carriers) وأنظمة ريدوكسية (Redox Systems) كما يحصل في الأغشية الداخلية للميتاكوندريا والكلوروبلاست، والأنزيمات الريدوكسية في غشاء البلازما، عموما بشكل خاص تكون مسؤولة عن اختزال Fe^{3+} المخلبي (Fe^{+3} Chelates).



مادة النبات

المواد المكونة للنبات الحي هي الماء والمعادن والمادة العضوية، الكميات النسبية لهذه المكونات الثلاثة قد تختلف نسبة إلى مادة النبات الأخضر، الماء يشكل الجزء الأكبر منها ٧٠ % والباقي مادة جافة.

أولا – الماء: يعتبر الماء هو الوسط العام الذي تحدث فيه جميع الأنشطة في الخلايا ومن الناحية الفسيولوجية إن كل الكائنات الحية تعتبر كائنات مائية وان خلاياها تقوم بفعالية الماء فقط عند وجود الماء وعند عدم توفر الماء تعجز هذه الكائنات عن القيام بدورها أو بفعاليتها. يحتوى التركيب الكيميائي للنبات الأخضر على ٧٠ وقد يصل إلى ٩٥% من وزنه ماء. والنسبة المئوية المضبوطة أو الصحيحة للماء في النبات تتوقف على العديد من العوامل منها نوع النبات، درجة انتفاخه، وقت أخذ العينة النباتية (تتأثر بزمن أخذها خلال اليوم)، كمية الرطوبة بالتربة، درجة الحرارة ونشاط الرياح بجانب عوامل أخرى، لذا يكون من المتوقع اختلاف الوزن الطازج لنبات معين نتيجة لتلك العوامل السابق ذكرها، وبالتالي يكون من الخطأ أن تُنسب نتائج التحليل الكيميائي للنبات إلى الوزن الطازج بل ينسب إلى المادة الجافة Dray matter والتي يتم تقديرها بوضع العينة النباتية الطازجة في فرن على درجة حرارة ٧٠ °م لمدة من ٢٤ – ٤٨ ساعة.

وظائف الماء في النباتات

١. يعمل كمنظم لدرجة حرارة النبات يتميز بقابلية نوعية عالية على استيعاب الحرارة فيحافظ على النباتات من الحرارة العالية وذلك بفضل قابليته على التبخر بدرجات الحرارة المختلفة

٢. مذيب جيد، الماء يذيب جيدا الكثير من المركبات ويتم في الوسط المائي التفكيك الإلكتروني لهذه المركبات وتقوم النباتات باستساغة الأيونات الحاوية على العناصر الضرورية للتغذية المعدنية

٣. الشد السطحي العالي للماء يحدد دوره في عمليات الامتزاز المختلفة وحركة المركبات المعدنية والعضوية

٤. وسطاً ناقلاً تنتقل فيه نواتج عملية البناء الضوئي والأملاح الممتصة

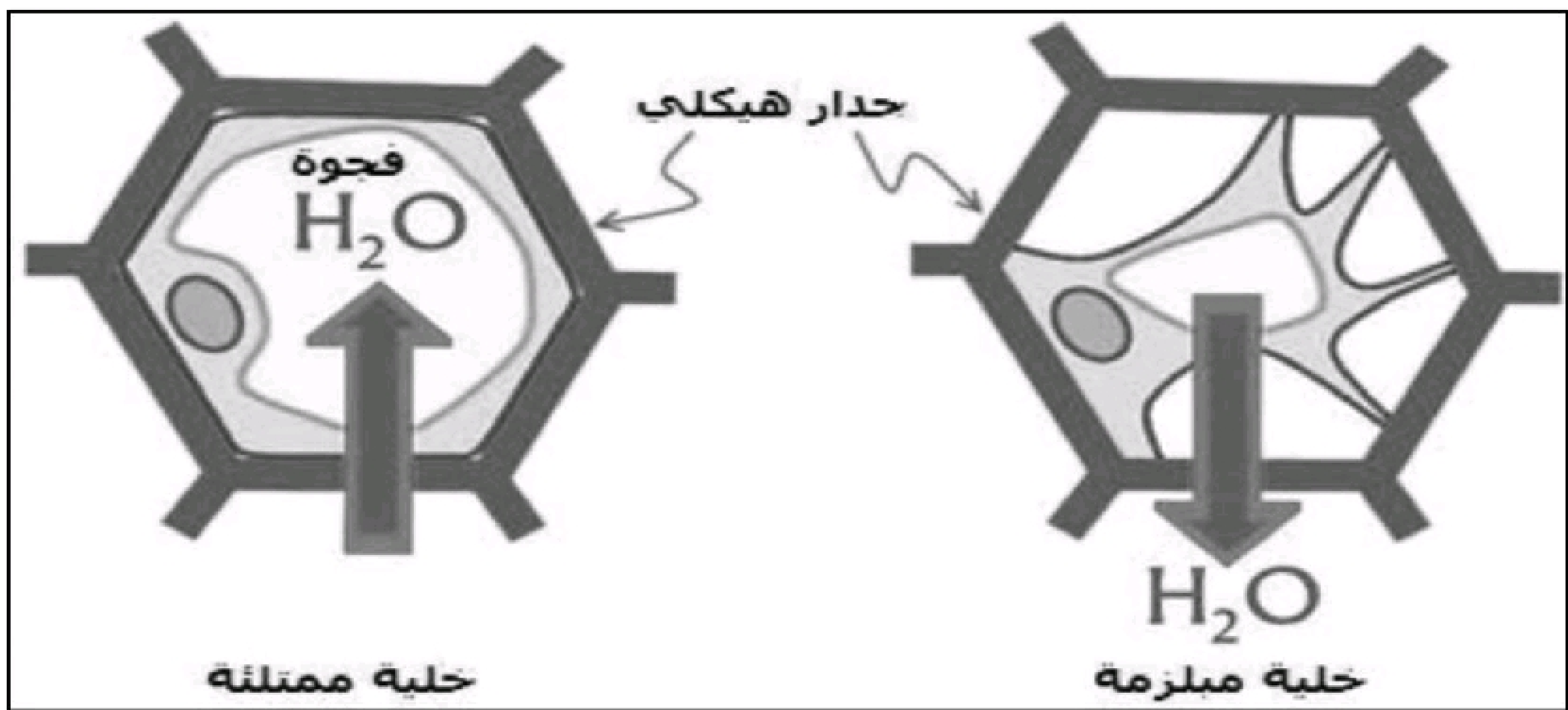
٥. ويمتلك الماء قابلية إمرار الأشعة المرئية والأشعة الفوق بنفسجية القريبة منها من الحزمة الضوئية الضرورية للتمثيل الضوئي إلا أنه يقوم بحجز معين من الإشعاعات الحرارية وهي الأشعة تحت الحمراء كمية الماء في خلايا أنسجة النبات هي الأساس في تحديد انتفاخ الخلايا وتضخمها وحيث تعتبر عاملا مهما في تنشيط وتوجيه العمليات الفسيولوجية الكيميائية الحيوية المختلفة

٦. يعمل دعامة للنبات عن طريق ضغط الامتلاء

٧. وسط تتم فيه معظم تفاعلات الخلية ويتم بمشاركة الماء المباشر عدد كبير من التفاعلات الكيميائية الحيوية في تركيب أو انحلال المركبات العضوية في الأحياء النباتية.

٨. والماء لا يعتبر مذيبا للأملاح المعدنية الآتية من التربة ووسطا لحركة وتبادل المواد في النباتات فحسب إنما جزء لا ينفصل من تركيب الخلايا النباتية .

٩. كمية الماء في النباتات تعتمد على نوع وعمر النبات وظروف توفير الماء وعلى النتح ونسبيا على التغذية المعدنية



ثانيا – المادة الجافة

- تُمثل المادة الجافة حوالى ٥ – ٣٠% من الوزن الطازج، وتتكون المادة الجافة من شقين رئيسيين هما:
- الشق العضوي، ويمثل حوالى ٩٠-٩٥% من المادة الجافة ويتكون أساساً من الكربون والأوكسجين والهيدروجين، والذى يستمدها النبات من الماء والهواء، بالإضافة إلى جزء من الفوسفور والكبريت والنيتروجين والتي يكون مصدرها محلول التربة.

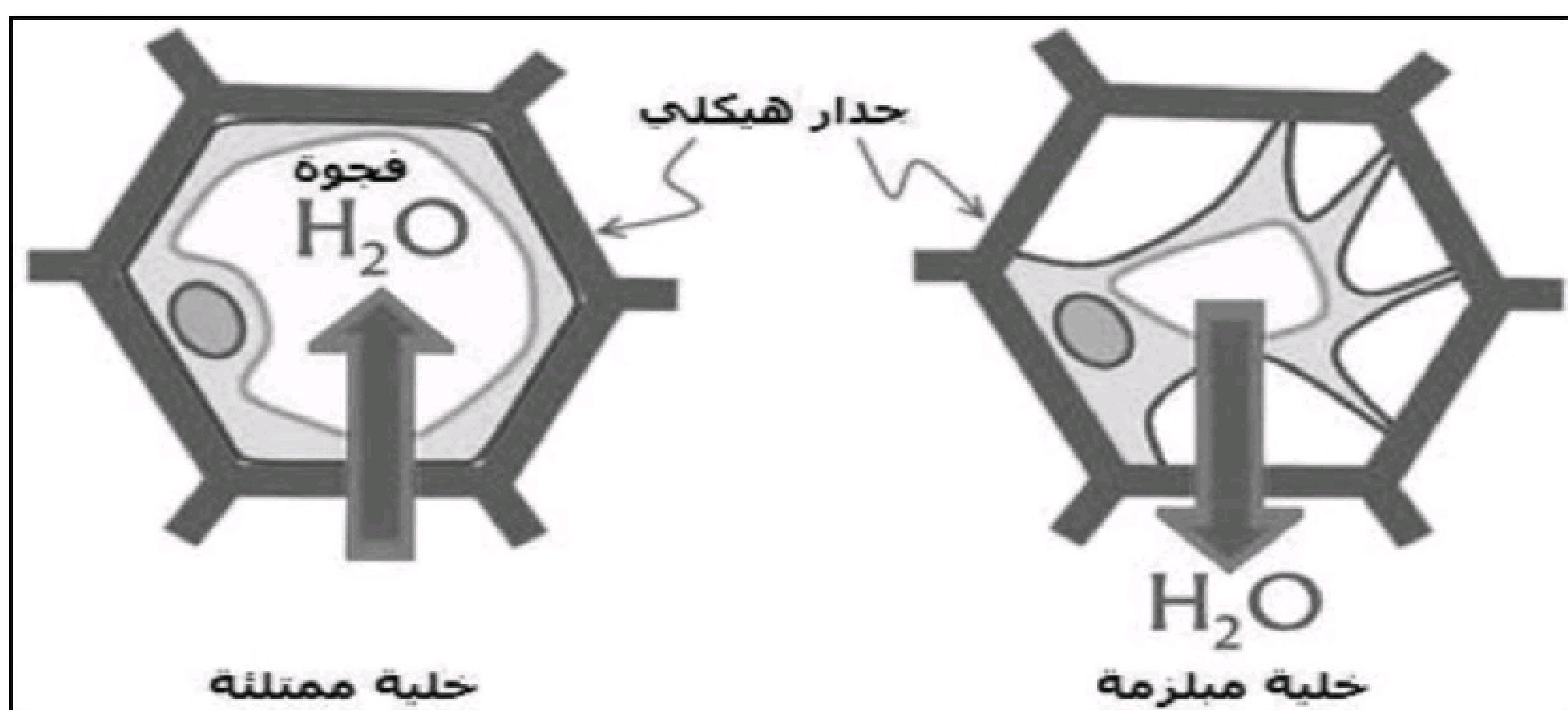


- والشق الآخر هو الشق المعدني (الرماد Ash) والذى يمثل حوالى ٥ – ١٠% من المادة الجافة ويمكن الحصول عليه بحرق المادة النباتية الجافة على درجة حرارة من ٥٠٠-٦٠٠ °م أو هضم المادة النباتية الجافة بواسطة مخلوط من الأحماض فيتم التأكسد. ويفضل أخذ النبات الجاف وليس الرطب، والسبب إن الوزن الرطب يكون عرضة للتغيير اليومي وكمية الرطوبة المتيسرة في التربة وشدة النتح كذلك إن الوزن الرطب يتغير بتغير نوع النبات وعمره وجزء النبات المأخوذ للتحليل (جذور- سيقان – أوراق – ثمار- بذور).

٧. وسط تتم فيه معظم تفاعلات الخلية ويتم بمشاركة الماء المباشر عدد كبير من التفاعلات الكيميائية الحيوية في تركيب أو انحلال المركبات العضوية في الأحياء النباتية.

٨. والماء لا يعتبر مذيبا للأملاح المعدنية الآتية من التربة ووسطا لحركة وتبادل المواد في النباتات فحسب إنما جزء لا ينفصل من تركيب الخلايا النباتية .

٩. كمية الماء في النباتات تعتمد على نوع وعمر النبات وظروف توفير الماء وعلى النتح ونسبيا على التغذية المعدنية



ثانيا – المادة الجافة

- تُمثل المادة الجافة حوالى ٥ – ٣٠% من الوزن الطازج، وتتكون المادة الجافة من شقين رئيسيين هما:
- الشق العضوي، ويمثل حوالى ٩٠–٩٥% من المادة الجافة ويتكون أساساً من الكربون والأوكسجين والهيدروجين، والذى يستمدها النبات من الماء والهواء، بالإضافة إلى جزء من الفوسفور والكبريت والنيتروجين والتي يكون مصدرها محلول التربة.



- والشق الآخر هو الشق المعدني (الرماد Ash) والذى يمثل حوالى ٥ – ١٠% من المادة الجافة ويمكن الحصول عليه بحرق المادة النباتية الجافة على درجة حرارة من ٥٠٠–٦٠٠ °م أو هضم المادة النباتية الجافة بواسطة مخلوط من الأحماض فيتم التأكسد. ويفضل أخذ النبات الجاف وليس الرطب، والسبب إن الوزن الرطب يكون عرضة للتغيير اليومي وكمية الرطوبة المتيسرة في التربة وشدة النتح كذلك إن الوزن الرطب يتغير بتغير نوع النبات وعمره وجزء النبات المأخوذ للتحليل (جذور– سيقان – أوراق – ثمار– بذور).

00:02:49

ماهية تركيب مادة النبات

إن المادة الجافة هذه تكون ١٥ % من الوزن الرطب، وان ٩٠ % من هذه النسبة تمثلها عناصر (C-O-H) والمادة الجافة أو الجزء المعدني الجاف يشكل بحدود ١٠ %.

الجزء المعدني الضئيل الذي يحتوي على العناصر الغذائية عادة يمتصه النبات من محلول التربة، بالرغم من كونه جزءا ضئيلا إلا انه له أهمية كبيرة في:

١. تمكين النباتات الخضراء من القيام بعملية التركيب الضوئي وبناء مادته العضوية.
٢. تفعيل الأنزيمات: إن النباتات تحتوي على آلاف الأنزيمات التي تعمل سوية في إن واحد أو على التعاقب طبقا لما تتلقاه من معلومات من الأحماض النووية التي تسيطر على الفعاليات الحيوية وتسيرها وان هذه الأنزيمات تكون غير فعالة في حالة غياب العناصر المعدنية خصوصا الصغرى منه.

العوامل التي تؤثر على محتوى النبات من العناصر الغذائية

أولا: العامل الوراثي

للعامل الوراثي دور مهم في تحديد محتوى النبات من العناصر المعدنية، وبصورة عامة فان مادة النباتات الخضراء تحتوي على عنصري النتروجين والبوتاسيوم ما يعادل عشرة أضعاف ما تحتويه من عنصري الفسفور والمغنيسيوم. أما من ناحية نوع النباتات نلاحظ إن محتوى البقوليات من عناصر النتروجين والكالسيوم والفسفور أعلى مما موجود في النجيليات، وان الحمضيات تحتوي عادة على كميات عالية من الكالسيوم، أما محاصيل البطاطا والبنجر السكري وقصب السكر فتكون عالية المحتوى من البوتاسيوم، ويلاحظ إن السبانخ والكرفس ذو محتوى عالي من الحديد، أما بالنسبة لنباتات الملفوف والقرنبيط والبصل والثوم فتكون ذو محتوى عالي من الكبريت.

ثانيا: جاهزية العنصر الغذائي

كلما زاد تركيز العناصر الغذائية في النبات يكون انعكاسا لزيادة هذه التراكيز في وسط النمو وازداد امتصاصه من قبل النبات.

ثالثا: اختلاف العضو النباتي

يختلف محتوى مادة النبات من المغذيات باختلاف الجزء النباتي المدروس (أوراق – جذور – ثمار – بذور) بصورة عامة يلاحظ إن محتوى أنسجة النبات من المغنيسيوم يكون عادة متركز في قشر الحبوب أكثر من البذور وهذه العلاقة تكون صحيحة بالنسبة (للنتروجين – البوتاسيوم – الفسفور – الكالسيوم).

رابعا: اختلاف عمر النبات

يلاحظ أن محتوى النباتات الحديثة السن من النتروجين والفسفور والبوتاسيوم يكون عالي، بينما النباتات المسنة (القديمة) نلاحظ أن محتواها من الكالسيوم والمنغنيز والحديد والبورون يكون عالي.

الجزء العضوي

- ويمثل الجزء الأكبر من المادة الجافة ويتكون أساسا من عناصر الكاربون والأوكسجين والهيدروجين ويشكل ٩٠ % منها
- قد يدخل في تركيب الجزء العضوي عناصر مثل النتروجين والفسفور والكبريت NPS
- كذلك بعض العناصر التي تميل إلى تكوين مركبات مخلبي مع المادة العضوية مثل المغنيسيوم في تكوين الكلوروفيل والكوبلت في تكوين فيتامين B_{12} (مهم في تكوين العقد البكتيرية على جذور النباتات البقولية).

يمكن تقسيم الجزء العضوي إلى ما يلي

أ. **مركبات عضوية يدخل النتروجين في تركيبها**

١. الأحماض الأمينية التي تدخل في تكوين البروتينات.

٢. الكلوروفيل

٣. الأمينات والاميدات والقواعد النيتروجينية.

٤. القلويدات العضوية مثل (النيكوتين والمورفين والكافئين)

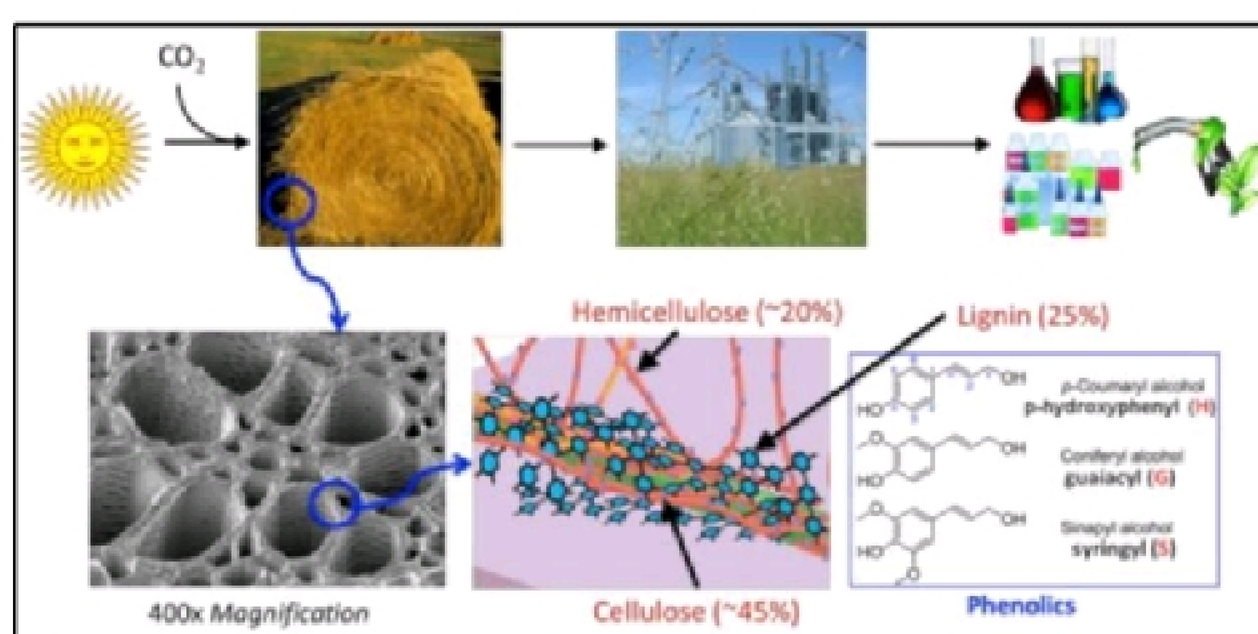
٥. الأنزيمات، مساعدات الأنزيم، الهرمونات النباتية، الفيتامينات، الأحماض النووية

ب. **مركبات عضوية لا يدخل النتروجين في تركيبها**

١. المواد الكربوهيدراتية ومشتقاتها: السليلوز والهميسليلوز والسكريات الثنائية والنشا

٢. الأحماض العضوية مثل الماليك – اللاكتيك – الستريك.

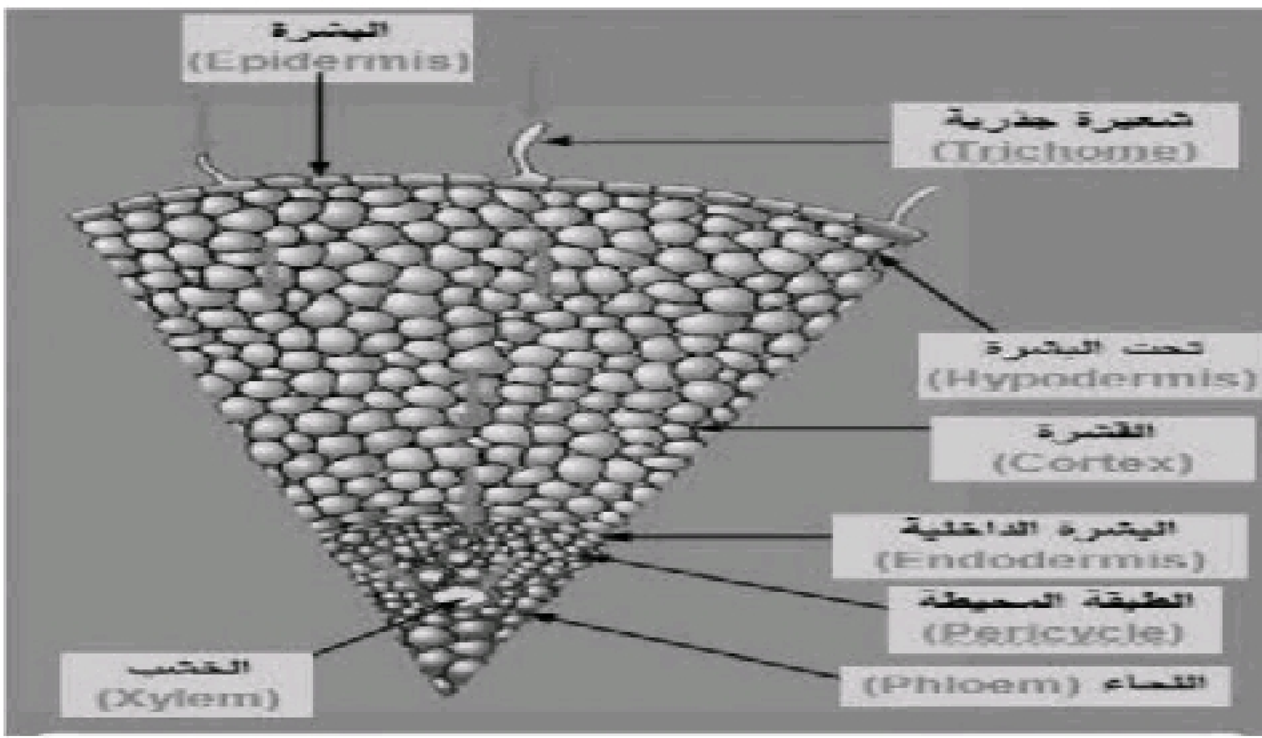
٣. الزيوت والدهون.



تركيب الجذر Root Structure

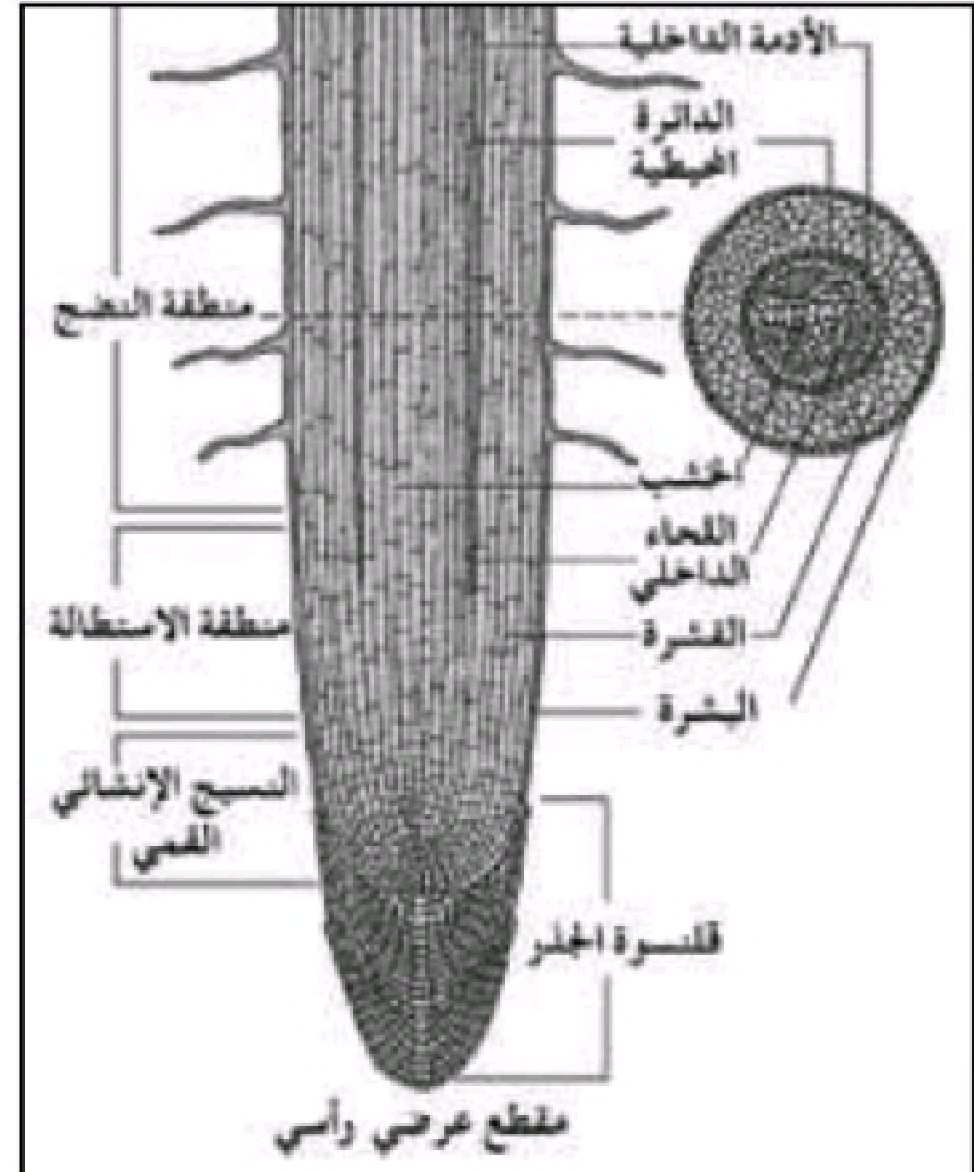
عند فحص قطاع عرضي في جذر حديث من منطقة الامتصاص ومن الخارج إلى الداخل، نجد أن أول طبقاته هي البشرة وتكون أسطوانة تغلف الجذر سمكها خلية واحدة، ويخرج من معظم خلاياها شعيرات جذرية جدرها خالية من أي تغليظ أو أي مادة تمنع نفاذ الماء أو الأيونات. وعلى ذلك ينتشر الماء بما يحتويه من أيونات خلال جدرها بسهولة تامة

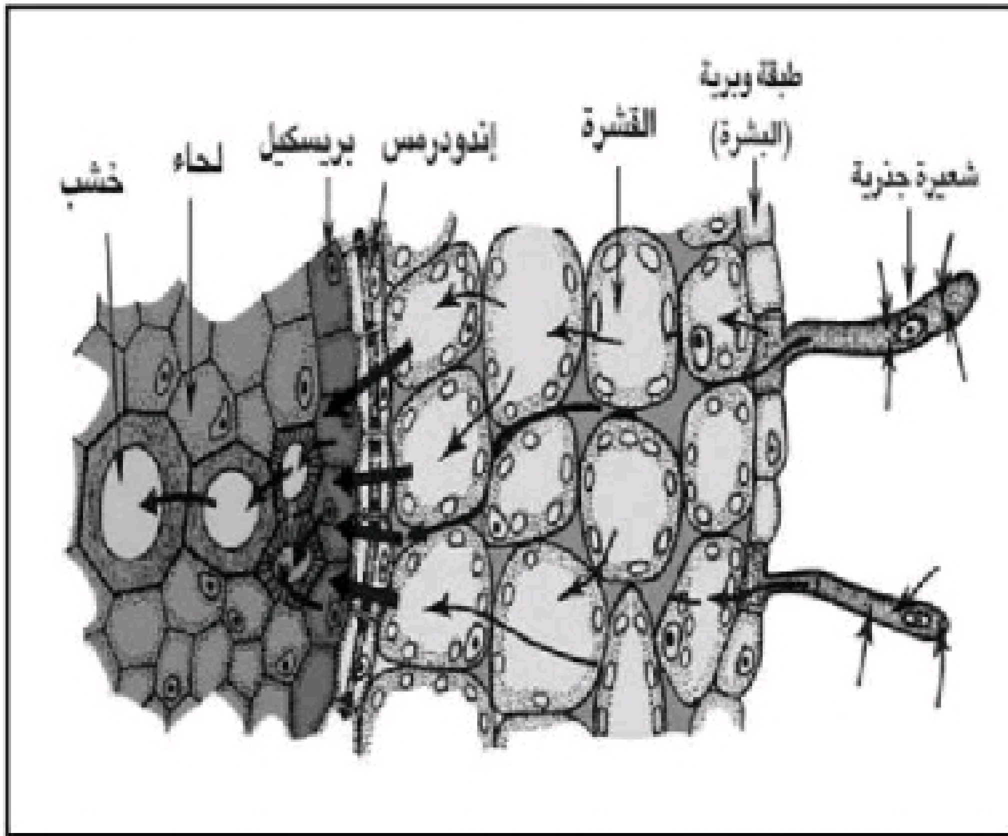
عدد مكونات طبقات الجذر من الخارج إلى الداخل:



- البشرة الخارجية
- القشرة
- الأسطوانة الوعائية
- البريسيكل
- الخشب
- اللحاء
- النخاع

الجدول ٣ يوضح المصطلحات الجذرية ووظائفها العملية





الجدول ٣: المصطلحات الجذرية ووظائفها العملية

	الوظائف العملية	المصطلح
١	امتدادات سيتوبلازمية من خلايا طبقة البشرة في الجذور وتشكل سطح الامتصاص الرئيسي في النبات	الشعيرات الجذرية
٢	صف واحد من الخلايا البرانشيمية المفلطحة المتلاصقة لها جدر رقيقة غير مغلفة بمادة الكيوتين	البشرة الخارجية
٣	عدة صفوف من الخلايا البرانشيمية ذات الجدر الرقيقة مما يسهل انتقال الماء والأملاح خلالها	القشرة
٤	آخر صف من القشرة يسمي البشرة الداخلية الجزء الأوسط من جدرانها الأفقية والقطرية مغلظة بالسوبرين الطبقة التي تتحكم في مسار الماء والذائبات من القشرة إلى الأسطوانة الوعائية في الجذر	البشرة الداخلية (الإندوديرمس)
٥	الدائرة المحيطة التي تمثل الغلاف الخارجي للأسطوانة الوعائية صف واحد من الخلايا البرانشيمية ذات الجدر الرقيقة يقع إلى الداخل من الاندوديرمس مباشرة	البريسيكل
٦	انسجة وعائية تلي القشرة وتتكون من أعمدة من الخشب واللحاء	الحزم الوعائية
٧	نسيج يتألف من أنابيب غرباليه وخلايا مرافقة وخلايا برانشيمية وألياف	نسيج اللحاء

وظيفة الشعيرة الجذرية

١. جدرها رقيقة تسمح بنفاذ الماء و الأملاح من خلالها.

٢. عددها الكبير و امتدادها خارج الجذر يزيد من مساحة سطح الامتصاص.

٣. تركيز المحلول داخل فجوتها العصارية أكبر من تركيز محلول التربة مما يساعد على انتقال الماء إليها من التربة بالخاصية الأسموزية.

٤. تفرز الشعيرة الجذرية مادة لزجة تساعدها على التغلغل والانزلاق بين حبيبات التربة والالتصاق بهذه الحبيبات مما يساعد على تثبيت النبات، كما أن هذه المادة اللزجة محبة للماء فتعمل كأغشية مائية تسهل من عملية الامتصاص

قشرة الجذر ووظيفتها

١. تتكون من عدة صفوف من الخلايا البرانشيمية ذات الجدر الرقيقة مما يسهل انتقال الماء والأملاح خلالها، كما أنها خازنة للمواد الغذائية عالية الطاقة.

٢. آخر صف من القشرة يسمى البشرة الداخلية أو الإندوديرمس، وتتمييز خلايا الإندوديرمس بأن الجزء الأوسط من كل جدرانها الأفقية والقطرية مغلفة بشريط من مادة السوبرين غير المنفذة للماء ويسمى شريط كاسبيري ليعمل على توجيه العصارة النيئة باتجاه واحد نحو أوعية الخشب.

٣. تمتلئ خلايا الإندوديرمس بجزيئات النشا ذات الطاقة لتساعدها على عملية النقل النشط للماء والأملاح المذابة فيه.

٤. طبقة الاندوديرمس في جذر النبات تتحكم في مسار الماء والذائبات، لأن خلايا طبقة الاندوديرمس تتمييز بأن الجزء الأوسط من كل جدرانها القطرية والأفقية مغلظة بمادة السوبرين الغير منفذة للماء (شريط كاسبيري) والتي تجعل الماء والذائبات تتحرك في اتجاه واحد نحو أوعية الخشب.

الإفرازات الجذرية

نتيجة للنمو والتطور الطبيعي، تفرز مجموعة كبيرة من المواد العضوية وغير العضوية من قبل الجذور في التربة من البولي سكرايد والأحماض الأمينية والمواد الدهنية، الأمر الذي يؤدي حتما إلى تغييرات في خصائصه البيو كيميائية والفيزيائية. وقد نسبت وظائف مختلفة لنضح قلنسوة الجذر بما في ذلك المحافظة التماس الجذر التربة، تزييت طرف الجذر، وحماية الجذور من الجفاف، وتثبيت التربة المجاميع الصغيرة، وامتصاص وتخزين أيونات، وتشمل الإفرازات النباتية عصارات والصمغ، والراتنج، وأحيانا يعتبر الرحيق

والإفرازات جذور النباتات تنضح مجموعة متنوعة من الجزيئات في ريزوسفير، بما في ذلك الأحماض والسكريات، والسكريات و الأنزيمات الخارجية، هذا يمكن أن تشكل ٤٠٪ من الجذر، إفراز هذه المركبات له فوائد مختلفة لنبات والكائنات الدقيقة من ريزوسفير. إضافة إلى إفراز السكريات المتعددة من الأحماض الأمينية والسكريات والأحماض العضوية تحرر هذه المواد من الجذر مهم للكائنات الحية الدقيقة المتواجدة في التربة لكونها تتغذى عليها لكونها تساعد في زيادة أعداد هذه الكائنات، أن فرز المواد العضوية يكون مهما في زيادة جاهزية الفسفور في التربة و هذا التأثير المباشر يتم من خلال خفض درجة تفاعل منطقة الرايزوسفير. وكذلك تعمل الأحماض العضوية على زيادة جاهزية الفسفور من خلال تحرره من على سطوح الأكاسيد المقيدة له بواسطة التبادل الأيوني أو من خلال خلب فوسفات الحديد والألمنيوم، والأحماض العضوية لها أهمية كبيرة في زيادة ذوبان المنغنيز.

الرايزوسفير وإفرازات الجذور The Rhizosphere And Root Exudation

المنطقة المجاورة والمباشرة لجذور النبات بشكل خاص ذات أهمية بالغة لتحولات العناصر الغذائية وجاهزيتها للنبات، هذا الجزء من التربة الذي يتأثر مباشرة بالجذور يسمى بالرايزوسفير (Rhizosphere) والذي يمتد لما يقرب من ١-٣ ملم من سطح الجذر في التربة، تأثير الجذر في وسط التربة المحاذي والقريب منه يكون بشكل رئيسي من خلال تحرر مواد عضوية وغير عضوية إلى التربة، المواد العضوية يكون مصدرها انسلاخ مادة الجذر (Sloughage) وأيضا من خلال إفرازات الجذور المباشر، عندما يخترق الجذر التربة فأن بعضا من أنسجته الخارجية تنسلخ وتتحلل بواسطة الكائنات الحية الدقيقة أو بواسطة الانحلال الذاتي (Autolysis)، وكمية الكاربون العضوي الكلي التي تتحرر إلى التربة هي كمية لا بأس بها، إن ما يقدر بـ ١٠ — ٣٠ % من الكاربون الكلي الممثل بعملية التركيب الضوئي من قبل النبات يفرز من الجذور إلى التربة. المادة الجيلاتينية التي تسمى (Mucigel) تتكون على سطح الجذور، وهي مركبة من المادة الأصلية المكونة للكربوهيدرات (Mucilages) أو المتطورة عنها، مثل الخلايا البكتيرية ونواتج عملياتها الحيوية وكذلك المعادن شبه الغروية والمواد العضوية من التربة، هذه الكميات الكبيرة من المواد العضوية تكون جاهزة للتحلل بواسطة الكائنات الحية الدقيقة العائدة لمنطقة الرايزوسفير. المواد المنسلخة من الجذور تعد المصدر الرئيس للكاربون الذي يتحرر من الجذور، إلى جانب ذلك فأن انتاج المواد المكونة للكربوهيدرات (Mucilages) يشارك بشكل كبير في انتقال الكاربون العضوي من الجذور إلى التربة، مادة Mucilages هي طبقة من الحبيبات ومواد ليفية (Fibrillar) تغطي سطح الجذور والشعيرات

الجذرية، مكونات هذه المواد اللزجة (Slimy) بشكل رئيسي هي السكريات المتعددة، واللاكتوز وأحماض Uronic وهي الأكثر أهمية في بناء هذه الكتل الأحادية، السكريات المتعددة تنتج في خلايا قلنسوة الجذر، ويعتقد بان Dictyosomoes هي جهات تمثيل السكريات المتعددة، وهذه الجسيمات الدقيقة تشارك أيضا في انتقال السكريات المتعددة وفرزها، البكتيريا لربما تتغذى على هذه المواد من على سطح الجذر، أن انحلال جدار خلايا البشرة بواسطة Lysates وأنزيمات التحلل الكهربائي المائي (Hydrolytic) يسمح أيضا للبكتيريا بمهاجمة خلايا بشرة ولب الجذر، المادة الجيلاتينية قادرة على إدمصاص (إدمصاص هو امتصاص على السطح، امتصاص هو امتصاص داخل الحبيبة) معادن الطين وكاتيونات الألمنيوم السامة المتنوعة وكذلك المعادن الثقيلة مثل Cd^{+2}، Pb^{+2}.

المادة الجيلاتينية اللزجة تكون متخنة عند نهايات الجذور ولهذا فأنها تقوم بحماية الأنسجة المرستيمية من مثل هذا التسمم، المادة الجيلاتينية التي تنتج من قبل الجذور والكائنات الحية الدقيقة تحفز على تكوين اتصال قريب بين الجذر والتربة من خلال ملئ الفراغات الموجودة بين الجذور وحبيبات التربة بالمادة الجيلاتينية، هذا الاتصال القريب بين التربة والجذور له أهمية كبيرة في تجهيز الماء والعناصر الغذائية وبخاصة عند منع تكوين فجوة بين الجذور والتربة عند انكماش الجذور تحت ظروف عملية النتح ذات المعدل العالي. عندما ينقل النبات إلى تربة أخرى (Transplanted) فأن هذا الاتصال القريب المتكون بواسطة المادة الجيلاتينية اللزجة بين الشعيرات الجذرية وحبيات التربة يدمر، لذا فان مدة إعادة تكون المواد الجيلاتينية وأحداث اتصال بين الجذور وحبيبات التربة عند نقل النبات من تربة إلى أخرى، تكون حرجة لكون التجهيز بالماء قد تأثر سلبا مما يؤثر في العمليات الحيوية للنبات، وهذه الحالة تسمى بصدمة الانتقال (Transplanting Shock) وتؤدي دورا خاصا في نقل بادرات (الشتلات الصغيرة الحجم) مثل نبات الرز وزراعتها في الحقل.

إضافة إلى فرز السكريات المتعددة، يقوم الجذر بفرز عدد من المواد العضوية ذات الأوزان الجزيئية الواطئة ومنها الأحماض الأمينية والسكريات الأحماض العضوية، ويحصل هذا في كثير من الأحيان تحرر هذه المركبات من قبل جذور النبات يجهز مصدرا غذائيا للكائنات الحية الدقيقة في منطقة الرايزوسفير، ولهذا فان النشاط الميكروبي في منطقة الرايزوسفير يعتمد بشكل كبير على الفعاليات الحيوية للنبات التي تنظم عملية إفرازات الجذور. النباتات التي تنمو تحت الظروف المثالية تقوم بنقل كميات لا بأس بها من نواتج

عمليات التركيب الضوئي إلى الجذور، ولهذا فان النشاط الحيوي للجذور يكون عاليا والكائنات الحية الدقيقة في منطقة الرايزوسفير تجهز بشكل جيد للكاربون العضوي والمركبات النيتروجينية

وهذا يحفز على مضاعفة أعداد الكائنات الحية الدقيقة وزيادة الكتلة الميكروبية ويرتبط بذلك تمثيل النتروجين المعدني.

إغناء منطقة الرايزوسفير بالمركبات العضوية (السكرين والأحماض الأمينية) التي تستهلك من قبل الميكروبات يؤدي إلى زيادة الكثافة الميكروبية بشكل ملحوظ في منطقة الرايزوسفير مقارنة بمناطق التربة الأخرى. النسبة بين الكثافات الميكروبية لمنطقة الرايزوسفير ومناطق التربة الأخرى (S= Bulk Soil, R=Rhizosphere) ربما تصل إلى ما يقرب من ١٠٠، الجدول (٤) يظهر نسبة R/S وكثافة البكتريا في التربة الخالية من الجذور وفي تربة منطقة الرايزوسفير لعدد من المحاصيل الزراعية.

أن مثبتات N_2 التي تعيش بارتباط وثيق مع جذر النبات، وتحت الظروف الملاءمة ربما تقوم بتثبيت كمية لا باس بها من النيتروجين. البكتيريا المكونة للأمونيا تنتج الأمونيا من الأحماض الأمينية المفروزة ومن البروتينات المتواجدة في خلايا الجذر الأمونيا المتحررة ربما تمتص من قبل النبات أو تشترك في أجسام المواد الميكروبية أو تثبت من قبل معادن الطين. البكتيريا المسؤولة عن فقدان النتروجين على شكل غازات بعملية (De Nitrification) تنتج نتروجين متطاير و N_2O تحت ظروف غير هوائية. البكتيريا Nitrosomonas والبكتريا Nitrobacter التي ينتج عنها النتريت ومن ثم النترات بالتتابع هي أقل انتشارا في منطقة الجذور .

عملية التأزت هي Nitrification يمكن أن تتوقف في منطقة الرايزوسفير في بعض أنواع النباتات وبخاصة الحشائش والأشجار، وهذه العملية مهمة وبخاصة في تجهيز النيتروجين لهذه الأنواع من النباتات.

أن فرز المركبات المعدنية والعضوية من قبل جذور النباتات قد يكون لها تأثير كبير في مقدرة جذور النباتات على استثمار التربة من أجل العناصر الغذائية، ومن أهم الميكانيكيات في هذا الجانب هي الضخ البروتيني الموجب الشحنة بتحفيز من أنزيم ATP (Atp Ase Proton Pump) الموجود في غشاء البلازما لخلايا الجذر والذي هو القوة المحركة لامتصاص العناصر الغذائية.

الضخ البروتيني خارج الخلية إلى منطقة الرايزوسفير يجعلها حامضية ودرجة التفاعل pH التي تصل إليها تعتمد على مقدرة التربة التنظيمية لأيونات الهيدروجين Power H^+ Buffer. إذا كانت هذه المقدرة

من عمليتي التأزت وفقدان النتروجين على شكل غازات، إن نشاط بعض أنزيمات الجذور يزداد بشكل كبير، وهذه الحالة مع أنزيمات Phosphatases التي تفسخ (Cleave) أسترات الفسفور (Phosphate Esters) من أجل تجهيز مصدر للفسفور المعدني للنبات، درجة التفاعل المنخفضة في منطقة الرايزوسفير ربما هي الظروف الملاءمة لانحلال المركبات القليلة الذوبان مثل الفسفور وأكاسيد وهيدروكسيدات الحديد، وكذلك تحفز على تحلل المعادن بحيث تحرر الكاتيونات مثل Mg^{+2} و K^{+}.
من جهة أخرى فإن درجة التفاعل المنخفضة تعرقل عملي انفصال (Desorption) أو عدم امتزاز الفسفور والكبريتات. تركيز العنصر الغذائي ربما يكون واطئا جدا قرب سطح الجذر كنتيجة لامتصاصه من قبل النبات مثل هذه التراكيز المنخفضة ربما تحفز على انحلال المركبات البطيئة الذوبان وكذلك على عدم امتزاز العناصر الغذائية متضمنة تحرر K^{+} الموجود في الطبقة البينية وكذلك NH_4^{+} في الطبقات البينية.
في الترب الغنية بالكالسيوم فأن مركبات الكالسيوم لربما تتجمع عند سطح الجذر لكون كمية كبيرة من Ca^{+2} تنتقل إلى سطح الجذر بواسطة الجريان الكتلي مع الماء وهي أكثر من الكمية التي يمتصها النبات، مثل هذا التجمع ربما يؤدي إلى تكلس الجذر بالكالسيوم (Root Calcification). أن فرز الأنيونات العضوية أو الأحماض العضوية من قبل جذور النبات ذو أهمية كبيرة مادام ذلك مرتبطا بحالة العناصر الغذائية في النبات، إن نباتات الرز تفرز مادة الستريت (Citrate) من جذور النباتات عندما تعاني من نقص التجهيز بعنصر الفسفور. نتائج مشابهة قد وجدت مع النباتات البقولية لنباتات البرسيم الأحمر (Trfolium Pretense) الستريت هو أيضا فعال (Potent) في تحرير الفسفور من حبيبات التربة، لذا فأن المتحرر منه من جذور النبات يستطيع أن يحرر الفسفور المدمص ويجعله أكثر حركة. نباتات البازلاء (Pigeon Peas) لها جهد خاص لاستثمار الفسفور من مركبات الحديد من خلال فرز حامض الباسيديك (Piscidic Acid) الذي هو من مشتقات مادة الترتيرك (Tartrate) القادرة على خلب الحديد بذلك تحطم مركبات الحديد الفوسفاتية (Fe-Phosphate Compounds).



عالية فأن درجة تفاعل الرايزوسفير تنظم (أي مقاومة أي تغيير يحصل في درجة تفاعل الرايزوسفير) والعكس صحيح.

الجدول ٤ : مجاميع البكتريا المحسوبة في منطقة الرايزوسفير لنباتات عدة محاصيل وكذلك في حجم التربة

المحصول	المجاميع البكتيرية المحسوبة $١٠^{٦}$/غم تربة		
	حجم التربة الخالي من الجذور	منطقة الرايزوسفير	نسبة R/S
البرسيم الأحمر	١٣٤	٣٢٥٥	٢٤
الشوفان	١٨٤	١٠٩٠	٦
الكتان	١٨٤	١٠١٥	٦
الحنطة	١٢٠	٧١٠	٦
الذرة الصفراء	١٨٤	٦١٤	٣
الشعير	١٤٠	٥٠٥	٣

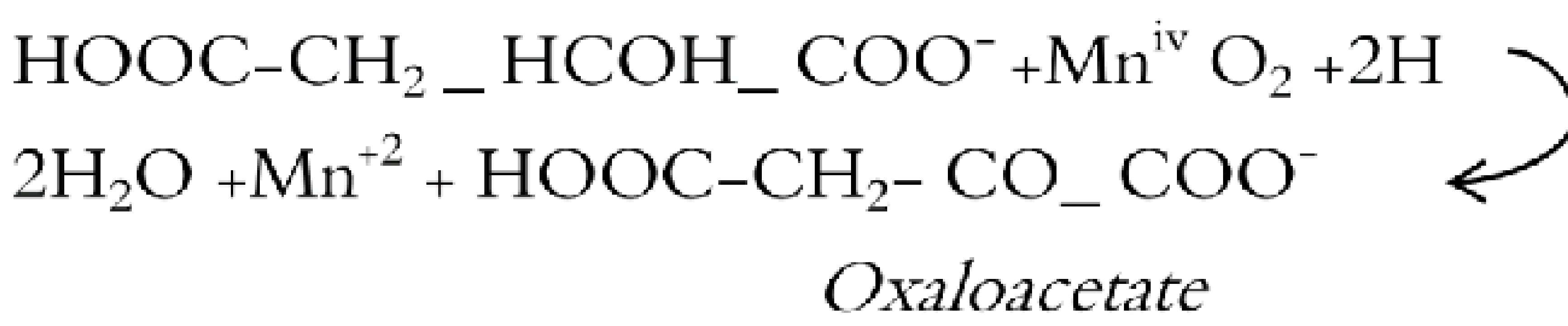
أن درجة التفاعل في منطقة الرايزوسفير تتأثر بشكل كبير بامتصاص الأنيونيات (العناصر ذات الشحنات السالبة) التي توسطها عملية الاسترداد أو الاسترجاع التي من خلالها تنتقل البروتونات راجعة (Transported Back) إلى السيتوبلازم. في هذه الإزالة لأيونات الهيدروجين من الرايزوسفير تؤدي النترات دورا مهما ورئيسيا مادامت تشكل ما يقارب من ٨٠ % من الأيونات الكلية التي يمتصها النبات، مما يدل على أن النترات هي المصدر الرئيسي للنتروجين، ولهذا السبب فإن الرايزوسفير يكون قاعديا (Alkaline) بشكل اعتيادي في النباتات التي تجهز بالنتروجين على شكل نترات وبشكل معاكس فإن تجهيز النبات بالأمونيوم يجعل الرايزوسفير حامضيا والشيء ذاته صحيح بالنسبة للنباتات التي تجهز بشكل كبير بال N_2 المثبتة تكافليا. مثال على ذلك: النباتات البقولية درجة التفاعل في منطقة الرايوسفير تؤثر في نشاط الكائنات الحية الدقيقة، حيث أن درجة التفاعل المنخفضة تضعف نمو البكتيريا ولكنها ظروف ملاءمة لتكاثر (Proliferation) الفطريات ومن ضمنها المايكوريزا. ومثال على التأثير الإيجابي لدرجة تفاعل الرايزوسفير المنخفضة نتيجة التغذية بالأمونيوم (NH_4^+ – Nutrition) هو السيطرة على مرض Takeall الذي تحدثه بكتريا جذور نباتات الحنطة، درجة التفاعل المنخفضة وبشكل خاص تحد



أكثر أنواع النبات قدرة على استثمار فسفور التربة من خلال فرز الستريت هو نبات (Lupinusalbus) Whitelupin وهو ذو نوعية خاصة من الجذور تسمى (Proteoid Roots) الجذور (البروتيدية) أي البروتينية التي تتصف بجذور جانبية قصيرة متجمعة على شكل عناقيد تكون قادرة على الفرز السريع لكمية كبيرة من الستريت إلى منطقة الرايزوسفير.



الستريت ربما يستطيع أن يزيد من حركة فسفور التربة ليس فقط من خلال تحرر الفسفور الممتز (على السطح) أو بواسطة خلب Fe^{+3} من مركبات الحديد المعدنية. بل أيضا في الترب الكلسية ويكون من خلال خلب Ca^{+2} وبهذا تتم إذابة فوسفات الكالسيوم، في التربة ذات ٢٠ % من كربونات الكالسيوم تكون درجة التفاعل لتربة منطقة الجذور البروتيدية ٤.٨ بينما تكون درجة تفاعل التربة خارج هذه المنطقة ٧.٥. أن تكون الجذور البروتيدية تعتمد على حالة فسفور النبات حيث تتكون وتتطور عند غياب الفسفور. الجذور البروتيدية (Proteoidroots) توجد بشكل رئيس في نباتات Proteaceae (نوع من الشجيرات التي تزرع لغرض الزينة) القادرة على النمو في الترب الشديدة الحامضية الفقيرة والتي يكون نمو جذورها مرتبطا بفرز الستريت مما يكون لديها وسائل للتأقلم تحت الظروف غير الملاءمة للنمو وهناك دراسة مرجعية خاصة بفسلجة الجذور البروتيدية. ان الستريت والماليت هي أيضا تشترك في عمليات الاختزال لكون كل من الأنيونين ربما يجهز ذرات H_2 المختزلة التي قد تعمل على اختزال مركبات Mn و Fe. عملية الاختزال هذه تحتاج إلى أنزيمات ميكروبية وكما هو موضح في أدناه لكل من الماليت وO_2 Mn^{+2} *Malate*



$$HOOC\text{-}CH_2_HCOH_COO^- + Mn^{iv}O_2 + 2H \rightarrow 2H_2O + Mn^{+2} + HOOC\text{-}CH_2\text{-}CO_COO^-$$

Oxaloacetate

مثال مشابه حول التأقلم للتجهيز غير الملائم من العناصر الغذائية هو استجابة أنواع النباتات للتجهيز غير الملائم بعنصر الحديد. تحت ظروف نقص الحديد فأن النباتات ذوات الفلقتين تحرر معادلات متزايدة من البروتونات، والحشائش تفرز مركبات تسمى بالـ Phytosiderphoresهذه المركبات العضوية مثل حامض الأفنيك (Avenic Acid) وحامض الميوجينيك (Mugenic Acid) تقوم بإذابة Fe^{+3}



إلى خارج مركبات معادن الحديد بعملية الخلب. المركبات العضوية الحاوية على Fe^{+3} والقابلة للذوبان بالماء (Water Soluble Fe^{+3} siderophore) ربما تنتشر بعد ذلك إلى جذور النبات من أجل امتصاصها. أن جزء السكريات الذي يفرز خارج انسجة الجذر إلى الابوبلاست (Apoplast) يمكن أن يسترد (Retrieved) بواسطة استرداد البروتونات وعندما يكون هناك عجز في البروتونات في الابوبلاست فان كمية لابأس بها من السكريات ربما تنتشر في منطقة الرايزوسفير، أن امتصاص العناصر الغذائية من قبل النبات من منطقة الرايزوسفير.

إن دراسات الجذور غير سهلة مادامت قياسات النظام الجذري ومعايير الجذور معقدة، وشارك في التوصل إلى العديد من التقنيات التي تقاس بها الأنظمة الجذرية تحت ظروف الحقل، وهناك طريقة جيدة ومهمة لقياس نمو الجذر والأنظمة الجذرية، والتي استخدم فيها آلات دقيقة خاصة بالتصوير الداخلي (Optic Duodenoscope) لملاحظة تطور نمو الجذور في مقد التربة.

المايكورايزا (Mycorrhiza)

إن مصطلح المايكورايزا استخدم أولاً من قبل العالم الألماني A.B.Frank وذلك في عام ١٨٨٥ وهو الذي يشرح هايفات الفطريات المرتبطة بجذور النبات، وهو الذي سماها بال Mykorrhizen والتي تعني جذور الفطريات (Fungus Roots) ولقد وجد مؤخراً بأن الفطريات تتعايش تكافلياً مع النباتات الراقية. النبات الراقي يجهز الكاربون العضوي للفطريات وبشكل رئيس على شكل كربوهيدرات، والفطريات تستثمر التربة مجهزة النظام الجذري بكميات إضافية من الماء والعناصر الغذائية. هايفات الفطريات تكون على ارتباط وثيق مع جذور النبات وتتعمق في التربة. هذا الاتصال السطحي لجذور المايكورايزا مع التربة يزداد حجمه بشكل ملحوظ مما يجعل النبات قادراً على استكشاف واستثمار حجم أكبر من التربة من أجل الحصول على الماء والعناصر الغذائية. النباتات ذات النظام الجذري الضعيف بشكل عام تتطور فيها جذور المايكورايزا بدرجة كبيرة. هذا التعايش بين الفطريات والنبات قد مضى عليه أكثر من مئات الملايين من السنين، ويعتقد بأن الفطريات تجعل النباتات المائية (Aguatic Plants) قادرة على التأقلم للظروف الأرضية (Terrestrial Conditions) فطريات المايكورايزا يمكن أن توضع بثلاثة مجاميع

Arbuscular Mycorrhizae, (EM)Ectomycorrhizae,Ericoid Mycorrhizae . مجموعة Ericoid Mycorrhizae ترتبط بشكل رئيس بنوعية النباتات التي



تعيش في الترب الهيومية الحامضية الفقيرة وبخاصة النباتات المرقطة بألوان مختلفة (Heather Plants) مثل أنواع Vaccinium و Calluna. وطبقاً لذلك فإن Ericoid Mycorrhizae تكون متأقلمة لدرجة تفاعل للتربة من ٣,٥ -٤,٢. في الهايفات توجد أنزيمات Polyphenol Oxidases و Proteases تعمل على تحليل المادة العضوية للتربة ذات نسبة C /N العالية (اكبر من ١٠٠). إن المايكورايزا من نوع Ectotrophic تغطي الجذور والجذيرات (الجذور الصغيرة) ببساط سميك من الهايفات، إن نسيج الفطريات الذي ينتشر بين الخلايا اللحائية للجذور يجعل الفطريات قادرة على المحافظة على الاتصال المباشر والقريب من النبات.

الفطريات تعتمد على الكربوهيدرات التي يكون تجهيزها من قبل الجذور، وقد وجد بأن C^{14} المعلم لنواتج عملية التركيب الضوئي ينتقل بسرعة ليس فقط إلى الجذور بل أيضا إلى نسيج الهايفات لفطريات المايكورايزا. الكربوهيدرات وبشكل رئيس التي على صورة السكروز التي يتم الحصول عليها من جذور النبات المضيف تتحول إلى سكر خاص بالفطريات مثل Trenalose وMannitol وGlyvogen وبهذه الطريقة فأن الكاربون العضوي يتم حجزه لكون أن هذه الكربوهيدرات لا تستطيع جذور النبات أن تعيد تمثيلها بدرجة عالية وإنما بدرجة ضعيفة. لقد تم التأشير بأن انتقال المواد الناتجة مع عملية التمثيل من أجزاء النبات الهوائية باتجاه الجذور يكون عالياً في النباتات المصابة بالمايكورايزا مقارنة بالنباتات غير المصابة. لهذا فإن المايكورايزا هو مستقبل لنواتج عملية التركيب الضوئي.

إن الشبكة السميكة من الهايفات التي تغطي الجذور تحبذ امتصاص الماء والعناصر الغذائية المعدنية وبخاصة الفسفور، مادامت تزيد من المساحة السطحية للجذر التي تكون باتصال مع التربة. هايفات المايكورايزا (قطرها ٢-٤ مايكرو ملم) تكون قادرة على اختراق مساحات التربة، بخلاف الشعيرات الجذرية التي يكون قطرها خمسة أضعاف اكبر من قطر الهايفات. إن الجذور الملوثة بالفطريات تعيش مدة أطول من الجذور غير الملوثة. إن الجذيرات الجانبية الدقيقة تعيش لمدة قصيرة تحت ظروف عدم الإصابة، وتبقى غير متفرعة ولكنها تستجيب للإصابة من خلال بقائها لمدة أطول وكذلك من خلال تفرعاتها. وبهذه الطريقة تساعد المايكورايزا الجذور على استكشاف التربة من أجل الماء والعناصر الغذائية وبخاصة الفسفور. الفطريات أيضا يمكن أن تقوم بتجميع العناصر الغذائية للنبات وتجهيز هذه العناصر للنبات بالمدة التي تكون فيها جاهزية العناصر الغذائية في التربة واطئة. لهذا فإن النبات المضيف يجهز المايكورايزا بنواتج عملية التركيب الضوئي وبدورها تجهز الفطريات النبات بالعناصر المعدنية.



00:03:56

إن المايكورايزا من نوع Ectotrophic توجد بشكل رئيس في جذور الأشجار والشجيرات وهي ذات أهمية اقتصادية لنمو أشجار الغابات، وهي تكون نسبة ضئيلة من كل أنواع المايكورايزا. العديد من الدراسات قد أظهرت بأن Ectomycorrhize تحفز نمو الأشجار عندما تكون نامية في ترب ذات محتوى واطئ من الفسفور الجاهز. هناك حالات تكون فيها المايكورايزا ضرورية للنمو. ولهذا فقد نشر بأن البادرات لأشجار Pinus وPicea التي يتم زراعتها في ترب عضوية قد تم صرفها حديثاً وتنمو في هذه الترب فقط عندما تتم إصابة جذورها بفطريات المايكورايزا الخاصة بها.

العلاقة الفسيولوجية بين النبات المضيف والمايكورايزا الداخلية (Endomycorrhiza) هي مشابهه لتلك العائدة إلى المايكورايزا الخارجية (Ectomycorrhiza) التي تم شرحها مسبقاً، أن النوع الواحد من الفطريات قد ينتج مايكورايزا خارجية (EM) في نبات مضيف واحد ولكنه ربما ينتج مايكورايزا داخلية في نبات مضيف مختلف آخر أو تحت ظروف مختلفة. المايكورايزا الداخلية لها بعض الصفات من المايكورايزا الخارجية ومن Arbuscular Mycorrhiza (AM). الأخيرة تعود إلى المايكورايزا الداخلية وبشكل رئيس تشمل الأنواع من Glomales. الهايفات لهذه الفطريات تختلف عن تلك العائدة إلى المايكورايزا الخارجية حيث إنها تخترق خلايا لب الجذر مكونة شبكة داخلية من الهايفات، وأن بعض الهايفات قد تتمدد إلى التربة.

الفطريات قد تعد نظاما ذا وجهين أو طورين حيث يتواجد مايسيليوم في لب الجذر مرتبطاً بميسيليوم خارجي في منطقة الرايزوسفير والتربة. تظهر الفطريات بتراكيب في مراحل مختلفة من التطور بمظهر يشبه الشجيرة يسمى بالشجري (Arbuscules)، وال Arbuscula هي كلمة لاتينية معناها شجيرة (Arbuscula,Latin=Shrub)، هذه التراكيب هي مشابهة لخرطوم أو ممص الحشرة الطفيلية (Haustoria) ولكنها تتكون من تفرعين اثنين (Dicotomous) من الهايفات. والنوع الثاني من التركيبات هو الحويصلي (Vesicle)، وهو أيضا كلمة لاتينية بمعنى المثانة أو الكيس الصغير المملوء بالهواء (Vesicula, Latin = Small Bladder)، الذي ربما يتكون من خلال تشرب وانتفاخ (Swelling) الهايفة ويتواجد داخل الخلايا أو بينها، الحويصلات الخارجية أيضا تتكون على الهايفات الخارجية.

العلاقة التكافلية بين النبات المضيف والفطريات منظمة بشكل جيد. الجذور المغذية الحديثة التكوين لا تظهر عليها أي علامة من التضرر عندما تكون مصابة بالفطريات. إن الجذور الحية تكون ضرورية لمزرعة



الفطر. والعلاقة التعايشي بين النبات المضيف والفطريات Endotrophic تكون مشابهه للعلاقة بين النبات والفطريات من نوع Ectotrophic حيث يقوم النبات بتزويد الفطريات بمركبات الكربون العضوية والفطريات تساعد النبات في اكتشاف التربة من حيث محتواها من الماء والعناصر الغذائية، وهذه العلاقة مهمة بالنسبة لعنصر الفسفور مادامت محاور استنزاف هذا العنصر يمكن أن تتواجد حول جذور النبات. المايكورايزا تزيد من مساحة الاتصال بين الفطريات والتربة مما يزيد من عملية امتصاص الفسفور بالنسبة لنبات البصل، وهذا يحصل مع المايكورايزا الخارجية. فطريات المايكورايزا ربما تمتص الفسفور من أشكاله القليلة الذوبان، النباتات ذات النظام الجذري وذات المساحة السطحية المتخصصة الواطئة وذات الجذور اللحمية (Fleshy Roots) والشعيرات الجذرية القليلة تمتص الفسفور من خلال المايكورايزا الشجيرية. هذه النباتات تضم نبات البصل والحمضيات والكرمات (Grapevine). المايكورايزا الشجيرية تظهر بأنها ذات أهمية متخصصة لأنواع النباتات البقولية مادام وجودها يحفز تثبيت N_2 في التكافل الثلاثي(Tripartite Symbiosis). أن نبات البرسيم لا يكون العقد الجذرية الخاصة بتثبيت N_2 الجوي في الترب التي تعاني من نقص عنصر الفسفور ما لم تلوث هذه التربة بالمايكورايزا. بما أن المايكورايزا تزيد من امتصاص الفسفور فإنها قد تزيد من امتصاص عناصر غذائية أخرى مثل Mn, Zn, Cu وكذلك Mo الذي يشارك في تثبيت النيتروجين الجوي. إن إصابة نبات الفول (*Faba Vicia*) بفطريات المايكورايزا من نوع *Glomus Fasciculatum* أدى إلى زيادة معدل تثبيت N_2، وتكوين العقد الجذرية ونشاط أنزيم النيتروجيينيز معنوياً، العقد الجذرية ذاتها لا تكون مستعمرة بواسطة المايكورايزا.

معظم أنواع المحاصيل باستثناء نباتات العائلة Brassica والبنجر السكري لها مايكورايزا شجيريه. الإصابة واسعة الانتشار في عوائل البقوليات والحشائش ووجدت في نباتات المراعي وبقوليات المراعي، وفي الذرة الصفراء، الحنطة، الشعير والكثير من أنواع الخضروات، والمحاصيل مثل القهوة، والشاي، والكاكاو، وجوز الهند، والبابايا، والمطاط معروفة بإصابتها بالمايكورايزا. نبات الكاسافا (Cassava) يعتقد بأنه يرتبط مع المايكورايزا الشجيرية ولهذا السبب يكون قادر على النمو بشكل معقول حتى في الترب التي تعاني من نقص عنصر الفسفور.

التداخل بين أنواع النباتات المضيفة وفطريات المايكورايزا هو حالة خاصة. التأثيرات الجيدة في استكشاف العناصر الغذائية في الترب يمكن التوصل إليها فقط عندما تتم إصابة جذور النبات المضيف بالنوع الملائم

من المايكورايزا حتى وإن كان من النوع الخارجي. وجد بأن استجابة النمو يعتمد على نوعية المايكورايزا. إن أهم ما تم التوصل إليه هو أن المشكلة الكبيرة هي في استخدام نوع المايكورايزا لاستكشاف العناصر الغذائية في التربة. هناك حاجة لأنواع الفطريات الملاءمة والتي تختلف باختلاف المحاصيل، محدثة صعوبات كبيرة عندما تزرع المحاصيل في دورة زراعية. أهمية فطريات المايكورايزا لأنواع مختلفة من نباتات المراعي وبخاصة النباتات البقولية، التي تغطي ٢/٣ من التربة الزراعية للعالم الكلية فهناك توقع بأن يعطي لها أهمية كبيرة. إن الاستجابة لتلقيح نباتات المراعي بالمايكورايزا كان كبيراً كلما كانت التربة المزروعة فيها هذه النباتات فقيرة.





الفصل الثالث

علم تغذية النبات

علم تغذية النبات وهو العلم الذي يهتم بدراسة كيفية حصول النبات على احتياجاته من العناصر الغذائية وكيفية امتصاصها وتتبع دخولها من محلول التربة والجو إلى داخل السيتوبلازم والفجوة العصارية وكذلك دراسة الفرضيات والنظريات المتعلقة بالامتصاص والعوامل التي تؤثر على هذا الامتصاص وكذلك تشخيص أعراض النقص والسمية إضافة إلى دراسة الوظائف الفسلجية المختلفة لهذه العناصر ودورها في نمو النبات واقتراح وسائل جديدة لإمداد النبات بالعناصر (المزارع المائية والتسميد بالرش).

وتغذية النبات هو مجموعة الظواهر والوسائل البيولوجية التي تضمن استمرار حياة النباتات المختلفة وفاعليتها الوظيفية باستعمال المصادر البيئية التي تعيش فيها. وتقتضي دراسة التغذية النباتية المعرفة التامة بعلوم فسيولوجيا النبات والكيمياء الحيوية والنبات والفيزياء والرياضيات التطبيقية والبيئة، وذلك بحثاً عن الطرائق الفاعلة للتوسع العمودي والأفقي بالرقعة الزراعية وعن أفضل الأوساط المغذية للنباتات التي تهم التغذية والاقتصاد بهدف الحصول على أفضل مردود نوعاً وكماً.

وهو دراسة العناصر والمركبات الضرورية لنمو النبات، وتمثيله، تتوفر العناصر أما بشكل تلقائي طبيعي في التربة) دورة العناصر (أو عن طريق إضافتها من قبل الإنسان).تختلف الترب بدرجة خصوبتها حسب عوامل عديدة، والتغذية الجيدة تعتمد أساساً على التوازن ما بين العناصر الغذائية التي يحتاج إليها النبات سواء أكانت هذه العناصر متوفرة أصلاً في التربة أو مضافة على شكل أسمدة. وكلما اقتربت درجة التوازن ما بين هذه العناصر الغذائية بالكمية والنوعية من الحد الأمثل لحاجة النبات كلما حصلنا على إنتاج أفضل شرط توفر العوامل اللازمة الأخرى. وعند نقص كمية أحد هذه العناصر الغذائية، فإن تأثيره يكون واضحاً على النبات سواء بمظاهر خارجية مرئية على النبات (تغير لون الأوراق مثلاً) أو بشكل غير مباشر بتأثيره على الإنتاج.

هذا العلم يهتم بدراسة تحسن طرق تصنيع الأسمدة واقتصاديات استعمالها ومواعيد وكميات إضافتها ومن جانب آخر فان هذا العلم يهتم بدراسة مقاومة الأمراض والحشرات عن طريق التغذية المعدنية. إن لهذا العلم علاقة فريدة مع الكائنات الحية على سطح الكرة الأرضية فهو يحتاج إلى علوم أخرى مثل علوم التربة



والكيمياء الحياتية وفسلجة النبات واقتصاديات التربة والموارد المائية وغيرها من العلوم الأخرى لفهم هذه العلاقة.

النباتات تتغذى على أيونات العناصر المعدنية وان العناصر المعدنية مصدرها التربة وان التربة هي ناتج لعمليات التعرية والتجوية في الصخور المختلفة لذلك تعد الصخور والمحيطات والهواء الجوي المصدر الخام للعناصر الغذائية المعدنية وعند توفر كميات جاهزة من هذه العناصر تنمو النباتات الصغيرة والكبيرة ويتغذى عليها الحيوان والإنسان لذلك هنالك علاقة وثيقة بين تغذية النبات ومصير الكائنات الحية على سطح الكرة الأرضية.

لمحة تاريخية

وصلت بحوث تغذية النبات والعلاقات الكائنة بين التربة والنبات في بداية القرن التاسع عشر ومنتصفه إلى درجة متقدمة على يد الباحث الفرنسي بوسينيول (١٨٠٧-١٨٨٧) J.B.Boussignault الذي عدّ مؤسس علم الزراعة الحديثة، ولم يكتف بدراسة التركيب المعدني لرماد النباتات بل تعمق في دراسته للعلاقات بين كمية العناصر الموجودة في النبات وتلك العناصر المفقودة من التربة والأسمدة المضافة إليها، وهو أول من برهن على تثبيت البقوليات للنتروجين الجوي. وبعده بيّن الألماني ليبيغ (١٨٠٣-١٨٧٣) Liebig إن كل المواد الموجودة في محلول التربة تمتص بوساطة جذور النباتات، وأدت أفكاره إلى قبول النظرية المعدنية للأسمدة Mineral Theory Of Fertilizers، وفي عام ١٨٦٠، بيّن النباتي الألماني ساكس J.V. Sacks إن التطور الصلب للتربة يمكن أن يغذي النبات على نحو كامل، وأوجد محلوله المغذي الشهير الذي يعد أساس المحاليل المغذية حتى الآن، وأتى بعده كنوب Knob الذي وضع في عام ١٨٨٦ محلوله المغذي الشهير وحسّن طرائق الزراعة في المحاليل المغذية، ثم أثبت النباتي الروسي فورونين Woronin بأن عقد جذور البقوليات تحتوي على البكتريا. وتتابعت الاكتشافات في القرن العشرين، وتبين أن الجذور تمتص الأملاح بالتماس المباشر بين حبيبات التربة وسطح الجذور. ومنذ عام ١٩٣٠ برزت أهمية محلول التربة كمصدر للعناصر المعدنية القابلة للامتصاص بوساطة الجذور، وتتابعت البحوث في هذه المجالات وأحرزت تقدماً ملموساً يعد اليوم المنطلق الأساسي للأبحاث الحديثة في تغذية النبات.



00:04:12

الغذاء و أهميته

١- هو المصدر الذي يستمد منه الكائن الحي الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية.

٢- هو المادة الخام اللازمة للنمو وتعويض ما يتلف من خلايا الجسم

التغذية المعدنية

لقد أدرك المزارعون الأوائل أن النباتات النامية في الوحل (الماء المختلط بالطين) Muddy Water أفضل من النباتات النامية على ماء المطر الرائق. وبفضل العالم De Sausure سنة ١٩٠٤ عرف العالم حاجة النبات للعناصر الغذائية الموجودة في التربة. وباستخدام المزارع المائية (محاليل مائية تنمو فيها النباتات لتتغذى على ما فيها من عناصر) وتم التعرف على أهمية العناصر الغذائية للنبات

طرائق دراسة التغذية النباتية

١. **تحليل الرماد Ash Analysis**

يستخدم تحليل الرماد لمعرفة نوعية وكمية العناصر الغذائية في أنسجة النبات وذلك بتعريض النسيج لدرجة حرارة عالية ٦٠٠ °م وتحويله إلى رماد. العناصر مثل Fe,K,Ca تبقى بشكل أكاسيد في الرماد أما العناصر في المركبات العضوية مثل C,H,O_2 فتفقد بشكل CO_2 وبخار الماء وأوكسجين. ولا يمكن تقدير N بدقة لان بعض المركبات العضوية النيتروجينية تتطاير بشكل أمونيا أو غاز النتروجين. فمثلا نجد النسب التالية في رماد نبات الذرة عند تحليل الرماد: النتروجين ١.٤٦% البوتاسيوم ٠.٩٢% الكالسيوم ٠.٢٣% الكبريت ٠.٢١% الفسفور ٠.٢٠% المغنيسيوم ٠.١٨% الحديد ٠.٠٨٣% المنغنيز ٠.٠٣٥%.

٢. **المزرعة المائية Water Culture Or Solution Culture**

يزرع النبات في محلول مائي يحتوي على المغذيات الكبرى والصغرى يسمى المحلول المغذي Nutrient Solution. يحتوي المحلول المغذي على ثلاث عناصر غذائية كبرى بصورة أيونات موجبة مثل Mg,K,Ca وكذلك ثلاث مغذيات كبرى بشكل أيونات سالبة مثل النترات والفوسفات والكبريتات. وعادة تضاف بشكل أملاح نترات البوتاسيوم ونترات الكالسيوم وفوسفات البوتاسيوم وكبريتات المغنيسيوم كما أن المغذيات الصغرى يجب أن تضاف بتراكيز واطئة.



مراعاة النقاط التالية في المزارع المائية:

١. الأملاح نقية ٢. تذاب جيدا بالماء المقطر ٣. توضع في أواني زجاجية (بايركس) ٤. العنصر المراد دراسته يحذف

٥. يعوض العنصر المحذوف بملح آخر للمحافظة على الأسموزية فمثلا عند حذف N يجب إضافة KCL بدل من KNO_3 ٦. تهوية المحلول ٧. منع اختراق الضوء ٨. المحافظة على الحامضية ٩. تغيير المحلول ٢-٣ مرة خلال الموسم.

من الناحية العملية طور Hoagland وArnon محلولين غذائية (١) و (٢) ويستعملان حديثا للبحث والدراسة، وسوف يتطرق إليها بالدروس العملية من هذا الكتاب.

٣. المزرعة الرملية Sand Culture

يزرع النبات في الرمل النظيف المغسول بحامض الهيدروكلوريك المخفف كي لا تبقى أي أثار للعناصر الغذائية ثم يغسل الرمل بعدها بالماء المقطر ويكون الرمل ناعم للمحافظة على الماء وحدوث التهوية وقد استعمل رمل Quartz أو مادة Perlite المغسولة.

٤. المواد المخلبية Chelating Agents

تضاف العناصر المغذية الموجبة الشحنة إلى المحاليل الغذائية بشكل مركب معقد مع مادة عضوية تسمى Chelates أو Ligand مؤلفة بذلك أيونا معقدا بحالة ثابتة وبذلك تمنع ترسب العنصر المغذي الصغير مثلا وجد المادة المسماة EthyleneDiamineTetra acetic Acid (EDTA) تتميز بانها مادة مخلبية مع الزنك.

خصائص المواد المخلبية

١. تقاوم فعل الأحياء المجهرية الدقيقة
٢. تكون مركبا معقدا مع أيون العنصر المغذي الصغير وليس مع أيون العنصر المغذي الكبير
٣. تكون المادة المخلبية مع أيون العنصر المغذي الصغير مركبا معقدا ذائبا
٤. تكون معقدا عديم أو سالب الشحنة حتى يسهل اختراق جدران الخلايا (السالبة الشحنة) أو طبقة الكيوتكل في الأوراق خصوصا عند رش المغذيات على الأوراق. أيونات المغذيات الصغرى الموجبة الشحنة سوف تترسب في جدران الخلايا أو طبقة الكيوتكل ولا تنفذ إلى داخل الخلايا اذا ما استعملت بدون المادة المخلبية على الأوراق.



00:04:18

وقد وجد أن مادة EDTA لها إلفه قوية مع الكالسيوم لذا استبدلت بمادة عضوية أخرى تتحد مع الحديد وهي Fe-EDDH (Ethylenediamine di,O-hydroxyphenol Acetic Acid)

ثالثا – طرق الاستدلال على النقص العنصري في النبات

يمكن الاستدلال على نقص عنصر معين عن طريق الدراسات التالية:

١. **تحليل التربة**

تحتوى التربة على نوعين من الأملاح هما:

نوع جاهز للنبات ويكون في صورة ذائبة ويشمل جميع الأملاح الذائبة ويحصل النبات علية بسهولة.

نوع غير جاهز ويشمل الأملاح الغير ذائبة أو صعبة التحلل وهذه النوعية عند تحللها البطيء يمكنها التحول إلى الصورة الذائبة.

وتحليل التربة يعطى صورة عن نقص عنصر معين في التربة ويتضح من التحلل أن العنصر قد يكون غائباً أو موجوداً ولكن توجد صورة غير جاهزة (غير ذائب للامتصاص) من قبل النبات بصورة مباشرة.

إذ يفيد تحليل التربة ومعرفة محتواها من العناصر الغذائية لمعرفة نقص العناصر الكبرى الذي تظهر أعراضه على النبات أو التي قد تظهر بعد فترة من حياة النبات. إذ إن الحد الحرج (Threshold limit) والشكل الذي يوجد به كل عنصر منها أصبحا معروفين، وكذلك التداخلات بين هذه العناصر وتأثير بقية العوامل عليها.

أما بالنسبة للعناصر الصغرى فإن هذه الطريقة لا يمكن الاعتماد عليها كلياً لمعرفة نقص العناصر نظراً لضيق المدى الذي توجد علية العناصر الغذائية بالإضافة لعدم معرفة الحد الحرج والشكل الذي يوجد به العنصر بشكل صالح للامتصاص في التربة كذلك كل التأثيرات الأخرى عليه بشكل كامل وقد ظهرت أعراض نقص بعض العناصر على نباتات نامية على تربة تحتوي كميات من هذه العناصر أكبر بكثير من تربة أخرى لم تظهر على المزروعات أية أعراض.



٢. التحليل الكيمياوي للنبات الكامل أو جزء من النبات

بتحليل أنسجة النبات يمكن تحديد العنصر الناقص في التربة. ولكن حتى اليوم لا يمكن الاعتماد على هذه الطريقة بشكل كامل لتشخيص أعراض نقص العناصر وخاصة الصغرى منها وذلك لأن الحد الحرج من كل عنصر ضمن النبات ما زال غير معروف بشكل كامل كما أن الشكل الذي يوجد به العنصر في النبات ونسبة كل عنصر إلى غيره ما زال يكتنفه الكثير من الغموض، فقد تظهر كميات من عنصر ما في أوراق مصابة أكبر من الكميات الموجودة في أوراق سليمة. إضافة إلى أن المتطلبات النباتية لأي من العناصر هذه تختلف من نبات لآخر ومن فترة لأخرى ضمن النبات الواحد خلال فترة حياته.

يمكن التعرف على احتياج النبات من العناصر الغذائية بالكشف على ما يحتويه النبات النامي في ظروف ملاءمة وفي تربة جيدة للوقوف على كمية العناصر في ذلك النبات. لكن هذه الطريقة غير مجدية حيث لا يوجد في الرماد سوى العناصر المعدنية لخروج بعضها في صورة غازية مثل الكربون والأيدروجين والأوكسجين والنتروجين حيث تتطاير على هيئة ثاني أكسيد الكربون CO_2 وبخار ماء H_2O وأوكسجين O_2 وأمونيا NH_3 لذلك فبيانات تلك الطريقة غير موثوق بها بالإضافة لأخطاء التحليل الكمي إلا أنها تمدنا بنسب العناصر بعضها إلى بعض.

٣. طريقة تجارب الحقل وتجارب الأصيص (الاختبارات البيولوجية على التربة)

ويجرى هذا الاختبار لاكتشاف مدى قدرة هذه التربة على نمو بعض النباتات فيتم مثلاً إنماء بعض الأحياء الدقيقة مثل الأزوتوباكتر أو نمو بادرات بعض النباتات. ويدل نمو هذه البادرات على مدى كفاءة هذه التربة على إمداد النبات بحاجته من المواد الغذائية الأساسية اللازمة لحياته.

٤. طرق الحقن والرش للنباتات

تعتمد هذه الطرق على حقيقة أن النباتات يمكن لها امتصاص العناصر المعدنية عند حقنها أو رشها في السيقان أو على المجموع الخضري، ولقد عرف منذ زمن أن اصفرار المجموع الخضري للعنب نتيجة لنقص الحديد أمكن علاجه بدهان الأفرع الجافة بكميات الحديدوز (الحديد الثنائي الشحنة) وليس عن طريق إضافة ذلك العنصر إلى التربة، والطرق الحديثة من حقن أو رش ذلك العنصر أثبتت كفاءتها في تشخيص وعلاج الأمراض المتسببة عن نقصه، وطرق الرش غاية في البساطة وعامة فان هناك بعض الاعتبارات:



- ضرورة الدقة في تركيز العنصر المضاف بحيث لا يسبب ضرراً للمجموع الخضري، وعامة فان التركيزات المستخدمة من العناصر الكبرى تتراوح بين ١ – ٤ % بينما من العناصر الصغرى تتراوح من ٠.١ – ١ %.
- يجب ترك النباتات فترة ١ – ٢ أسبوع بعد عملية الرش حتي يمكن الحكم على النتائج.

نتائج هذه الطرق تكون أكثر إيجابية في حالة الرش والنباتات صغيرة السن وفي بعض الحالات الخاصة بنقص عنصري المنغنيز والبورون فان الرش يكون أكثر كفاءة عند تطبيقه والنباتات في منتصف عمرها كما أنه في حالة نقص عنصر المغنيسيوم فانه لا تتحقق نتائج طيبة إلا بعد عدد من الإضافات على فترات متقاربة حتي يمكن وصول العنصر إلى النموات الجديدة كما أنه في بعض حالات خاصة بمورفولوجيا النبات مثل وجود مادة شمعية على الأوراق كما في الكرنب فانه يضاف إلى محلول الرش مواد مبللة للمساعدة على بقائه لفترة أطول على سطح الأوراق.

٥. استخدام النباتات الكشافة Indicator Plants

- النباتات الكشافة هي نباتات حساسيتها عالية تجاه غياب أو نقص عنصر معين بحيث تظهر عليها أعراض واضحة ومحددة
- يمكن الاستعانة بهذه النباتات في الكشف عن نقص العناصر في التربة
- عند استخدام نوع نباتي معين كوسيلة للكشف عن العناصر فإنه يجب ملاحظة أنه تختلف الأصناف في داخل النوع في حساسيتها لنقص العناصر وبالتالي في مدي وضوح الأعراض عليها، مثالاً لذلك في حالة استخدام البطاطس كدليل لنقص عنصر المغنيسيوم فان أصناف مثل Dunbar Standard تكون أكثر ملاءمة لهذا الغرض من الأصناف الأخرى

٦. تشخيص نقص العناصر بالأعراض الظاهرة على النبات في الحقل

وفي هذه الطريقة يتم التعرف على نقص العناصر عن طريق الأعراض التي تظهر غالباً على المجموع الورقي للنباتات، وأنه من الأهمية عند استخدام هذه الطريقة أن تكون أعراض نقص العناصر كلاً على حده معروفة ومحددة ومميزة على الأنواع النباتية المختلفة وهذا يمكن تحقيقه بسهولة عن طريق تنمية النوع النباتي المراد فحص الأعراض المرضية عليه في تربة رملية أو مزارع مائية مع إمدادها بمحلول مغذي يستبعد منه العنصر المراد معرفة تأثير غيابه على النوع النباتي، وعادة فان هناك عدداً من الاعتبارات والملاحظات لها أهميتها عند استخدام هذه الطريقة:



في بعض المحاصيل مثل محاصيل الحبوب فإن أعراض نقص العناصر لا تظهر عليها بوضوح إلا في حالة النقص الحاد لتلك العناصر، ولذلك فان وجود تركيزات بسيطة من العناصر في التربة لا يمكن الاستدلال عليه من خلال التشخيص الظاهري على تلك المحاصيل.

- بعض العناصر تعطي أعراض نقص متشابهة ومثال ذلك أعراض نقص الحديد أو المغنيسيوم على أشجار التفاح ومحصول الكرنب مما يدع مجالاً للشك، لهذا فان استخدام النباتات الكاشفة يمكن أن يضع حداً لهذا الشك.
- أحياناً يحدث خلط بين الأعراض الناجمة عن نقص بعض العناصر والأعراض الناجمة عن عوامل أخرى مثل الطقس أو الإصابة الحشرية أو الفطرية
- التشخيص الظاهري يحدث بعد ظهور أعراض النقص على المحصول المزروع، لذلك فان العلاج يكون متأخراً ولكن تكون له أهمية في المحصول التالي.

ورغم التطور الكبير في أجهزة التحليل ألمختبري، لا تزال هذه الطريقة تعتبر من أهم الطرق لتشخيص نقص العناصر الغذائية على النباتات، وذلك لأن لكل عنصر تأثير معين أو مجموعة من التأثيرات على كل نبات وعند غياب هذا العنصر أو انخفاض مستواه عن الحد الحرج لعدم توفره في التربة أو بسبب التداخلات مع عناصر أخرى فإنه تظهر على النبات علامات نقص خاصة به متمييزة في كثير من الأحيان من الأعراض التي يسببها عنصر آخر. ونتيجة لنقص عنصر معين يبدو النبات غير طبيعياً (مرض فسيولوجي) وتظهر علية أعراض مرضية مثل الاصفرار وتجعد الأوراق واحتراق حوافها وتساقط الأزهار وقصر الساق



وقد تختلط الأمور في بعض الأحيان وخاصة في المراحل الأولى لظهور الأعراض كالاصفرار مثلاً الذي يلاحظ أحياناً في بداية النمو قد يكون سببه نقص أكثر من عنصر إلا أنه لا يلبث أن يتمايز بعد فترة وجيزة وهذه الطريقة تحتاج إلى تدريب جيد وممارسة طويلة.



الفصل الرابع

العناصر الغذائية

العنصر الغذائي

هو المادة التي تؤدي وظيفة معينة في حياة النبات والذي يؤدي نقصه أو الإقلال منه إلى قلة أو انعدام النمو وبالتالي ينقص المحصول الناتج أو ينعدم

يقصد بغذاء أي كائن حي جميع المواد اللازمة له والتي يلزم مده بها من الخارج ويطلق على الكائنات الحية التي يتطلب الأمر إمدادها بالمواد العضوية وغير العضوية اسم Heterotrophic أي كائنات لا تعتمد على نفسها في إعداد غذائها، بينما يطلق على الكائنات الحية التي تحتاج فقط إلى المواد الغير العضوية اسم Autotrophic أي كائنات ذاتية التغذية لتغذيتها اسم ومثل هذه الكائنات تقوم بنفسها بإعداد وتجهيز المواد العضوية اللازمة لها والحيوانات والنباتات التي لا تحتوى على مادة الكلوروفيل وطفرات الالبينو (ظهور لون ابيض بدل الأخضر) للنباتات الخضراء تتبع النوع الأول بينما تتبع النباتات الخضراء النوع الثاني، فمثل هذه النباتات يمكنها أن تقوم بنفسها بتركيب المركبات العضوية اللازمة لها داخل جسمها بشرط أن تمد بالعناصر الغذائية الغير عضوية وأن تكون جميع الظروف ملاءمة لها، وبذا فإن جميع تغذية النباتات الخضراء هي تغذية غير عضوية ويطلق عليها اسم التغذية المعدنية Mineral Nutrition ويطلق على العناصر الغذائية التي يمتصها النبات من التربة اسم العناصر المعدنية وعلى ذلك فالتغذية المعدنية للنباتات تتضمن جميع العناصر الأساسية للنبات فيما عدا الأوكسجين والهيدروجين والكربون، ومما هو جدير بالذكر أن عنصر النتروجين وهو عنصر أساسي للنبات رغم أنه ليس عنصر معدني إلا أنه جرى العرف في تغذية النبات على اعتباره ضمن العناصر المعدنية حيث أن النبات يحصل عليه من التربة عن طريق جذوره.

شروط العنصر الغذائي

الدور الذي تقوم به العناصر المعدنية في حياة النبات وأعراض نقص العناصر على النباتات التي تتغذى على أيونات العناصر المعدنية وان العناصر المعدنية مصدرها التربة وان التربة هي ناتج لعمليات التعرية والتجوية في الصخور المختلفة لذلك تعد الصخور والمحيطات والهواء الجوي المصدر الخام للعناصر الغذائية



المعدنية وعند توفر كميات جاهزة من هذه العناصر تنمو النباتات الصغيرة والكبيرة ويتغذى عليها الحيوان والإنسان لذلك هنالك علاقة وثيقة بين تغذية النبات ومصير الكائنات الحية على سطح الكرة الأرضية.

لقد أدرك الباحثون في تغذية النبات بأن التربة (نظام مفتوح) وهي وسط معقد وغير متجانس ولا يصلح لإجراء تجارب دقيقة بشأن تعيين العناصر الضرورية الداخلة في تغذية النبات ولهذا فقد ابتكروا طريقة خاصة لزراعة نباتاتهم في أوساط غذائية غير التربة، كالمحلول المغذي الذي يمكن السيطرة على كمية ونوعية العناصر الغذائية الداخلة في تراكيبه، فاستطاعوا بذلك أن يميزوا العناصر الضرورية من غير الضرورية لنمو النبات وأكدوا على ثلاثة أسس لأوصاف العناصر، بحيث يقال للعنصر المعدني بأنه ضروري للنبات إذا ما توفرت فيه الشروط وهي

١. يدخل بصورة مباشرة في تركيب مادة النبات أو احد أعضائه.

٢. بدون هذا العنصر لا يمكن للنبات من إكمال دورة حياته.

٣. نقص العنصر الغذائي يؤدي إلى ظهور أعراض نقص خاصة بهذا العنصر.

٤. إن مظاهر نقص هذا العنصر لا تزول إلا بإضافة العنصر المفقود.

٥. لا يمكن إن نعوض العنصر الغذائي عن أي عنصر آخر في جميع وظائفه.

٦. له دور مفيد في التفاعلات الحيوية التي تحدث في النبات أو انه يزيل الأثر الضار الناجم عن التفاعلات الحيوية التي يقوم بها النبات.

وعلى أساس هذه الشروط تم التعرف على ١٥ عنصر لإدامة حياة النبات، وهي:

أولاً العناصر الأساسية: الكاربون والهيدروجين والأوكسجين، ويحصل النبات على الكاربون من ثاني أوكسيد الكاربون CO_2 الموجود في الهواء والتربة ومن الكربونات والبيكربونات من التربة (CO_3^{-2} و HCO_3^{-1}) ويحصل على الهيدروجين من الماء H_2O، في حين يحصل على الأوكسجين من ثاني أوكسيد الكاربون والماء

ثانياً العناصر الكبرى: النتروجين، الفوسفور، البوتاسيوم، الكالسيوم، المغنيسيوم، الكبريت

ثالثاً العناصر الصغرى: الحديد، الخارصين، المنغنيز، النحاس، البورون، المولبيديوم.



Carbon C	Potassium K	Iron Fe
Hydrogen H	Calcium Ca	Zinc Zn
Oxygen O	Magnesium Mg	Copper Cu
Nitrogen N	Sulphur S	Molybdenum Mo
Phosphorus P	Manganese Mn	Boron B

رابعا العناصر النـــــادرة: هناك مجموعة من العناصر هي ليست غذائية تتبع جميعها إلى زمرة العناصر النادرة ووجد إن وجودها بكميات منخفضة جدا في التربة أو الهواء يكون لها تأثير مفيد لفعالية بعض النباتات إلا إن ارتفاع مستوى هذه العناصر ولو بصورة منخفضة أو بصورة قليلة يجعل منها عناصر سامة للنبات وكذلك للحيوان الذي يعيش على تلك النباتات من أمثلتها (الكلور– الفلور – البروم – اليود – الزئبق – الرصاص – الزرنيخ -- الخ).

ويمكن أن تقسم العناصر الغذائية إلى:

أولا: تقسيم العناصر الغذائية من ناحية حركة العنصر الغذائي

١. عناصر متحركة: وهي العناصر الكبرى عدا الكالسيوم مثال أيونات النتروجين والكبريت والبوتاسيوم والفسفور والمغنيسيوم N,S, P, K, Mg, Cl, Na. وهذه العناصر تنتقل من الأوراق البالغة إلى الأوراق الحديثة والقمم النامية ولذا تظهر أعراض نقصها على الأوراق السفلي البالغة.

٢. عناصر غير متحركة: وهي معظم العناصر الصغرى والكالسيوم مثال الحديد الزنك النحاس والمنغنيز Zn, Mn, Cu ويليها Mo, Fe ثم Ca, B والبورون والكالسيوم وهي غير متحركة من الأوراق المسنة أو من الأوراق التي كانت متراكمة بها إلى الأوراق الحديثة ومناطق النمو خلال اللحاء لذا تظهر أعراض نقصها على الأوراق الحديثة والقمم النامية.

ثانيا: تقسيمات حسب اشتراكها في ظهور أعراض النقص على النباتات

أ – عناصر تشترك في ظهور أعراض النقص على الأوراق المسنة أولاً وهي الفسفور، البوتاسيوم، المولبيديوم، مغنسيوم، كبريت، نحاس، نيتروجين.

ب – عناصر تشترك في ظهور أعراض النقص على الأوراق الحديثة أولاً وهي الحديد، المنغنيز، الزنك.



ج – عناصر تشترك في ظهور أعراض نقصها أساساً على الأنسجة النامية للجذور والسيقان وهي البورون والكالسيوم

ثالثا: يمكن تقسيم العناصر الغذائية من ناحية وظائفها الفسيولوجي والحيوية إلى المجاميع التالية

المجموعة الأولى: وتشمل عناصر(C-H-O-N-S) حيث تدخل هذه العناصر في تركيب مادة النبات العضوية وتنشيط الأنزيمات.

المجموعة الثانية: وتشمل عناصر(P-B-Si) فتشارك هذه العناصر في انتقال الطاقة وتكوين مجاميع الاسترات.

المجموعة الثالثة: وتشمل عناصر(Cl-Mn-Mg-Ca-Na-k) فإنها ذات أهمية في الجهد الأسموزي وتساهم في عملية تكوين الأنزيمات والبروتينات.

المجموعة الرابعة: وتشمل عناصر (Fe-Cu-Zn-Mo) هذه العناصر لها القابلية على تغير أعداد تكافؤها لذلك تعمل هذه العناصر على انتقال الإلكترونات أي بمعنى آخر لها دور بعمليات الأكسدة والاختزال.

تأثير العناصر الغذائية

أن التأثير الأقصى لأي عنصر غذائي كان يمكن توقعه فقط عندما يكون التجهيز بالعناصر الغذائية الأخرى كاف ومناسب، لذا فإن نسبة العناصر الموجودة في الأسمدة المضافة أيضا تكون مهمة. هذه النسبة تعتمد على عدد من العوامل التي تضم الحالة الخصبة لتربة المحصول ونوعيته وإدارته. إذا كانت التربة فقيرة بأحد العناصر الغذائية مثال على ذلك الفوسفور فانه يجب إضافة أسمدة مركبة ذات محتوى عالٍ نسبياً من الفوسفور، أما إذا كان النقص شديد جداً بالفوسفور أو البوتاسيوم فإنه ينصح بإضافة الأسمدة الفوسفاتية أو البوتاسية من أجل رفع الحالة الخصبة للتربة إلى المستوى المطلوب. مثل هذه الظاهرة توجد في الترب ذات القابلية العالية على تثبيت الفوسفور أو البوتاسيوم.

إن مقدرة الخلايا الحية على استعمال المواد من المحيط الذي تعيش فيه في تركيب خلاياها وكمصدر للطاقة لمكوناتها الخلوية هي ظاهرة مميزة للحياة. إن تجهيز وامتصاص المركبات الكيمياوية التي يحتاجها الكائن الحي لنموه وفعالياته الحيوية يمكن أن تعرف بالتغذية (Nutrition) والمركبات الكيمياوية التي يحتاجها الكائن الحي تسمى بالمادة الغذائية (Nutrient). إن العمليات التي بوساطتها تتحول المواد المغذية إلى أجزاء خلوية أو تستعمل كمصدر للطاقة هي عمليات حيوية(Metabolic processes). إن



العمليات المتصلة ببناء البروتوبلازم (Merabollism) تشمل مختلف التفاعلات التي تحصل في الخلية الحية من اجل استمرارية النمو والحياة. لهذا فان التغذية والعمليات المتصلة ببناء البروتوبلازم ذات علاقة قوية بعضها بالبعض الأخر.

إن العناصر الغذائية الضرورية التي يحتاجها النبات الأخضر مقصورة على العناصر ذات الطبيعة غير العضوية (Inorganic nature)، ففي هذه الحالة يختلف النبات الأخضر أساساً عن الإنسان والحيوان والكائنات الحية الدقيقة التي تحتاج بالإضافة إلى العناصر غير العضوية مركبات عضوية كمادة غذائية، لتجهيز الطاقة.

وبشكل مغاير النبات يمتص الطاقة الضوئية من الأشعة الشمسية ويحولها إلى طاقة كيميائية على شكل مركبات عضوية، وبنفس الوقت يمتص النبات العناصر المعدنية لتجهيز العناصر الضرورية لنموه.

وظائف العناصر الغذائية الضرورية في النبات

كل عنصر غذائي ضروري له وظيفة أو وظائف معينة في النبات إلا انه يمكن ذكر الوظائف العامة للعناصر الغذائية في النقاط التالية

١. بناء بروتوبلازم الخلية الذي يتكون من البروتين والدهون والكربوهيدرات وغيرها
٢. تكوين معظم الأنزيمات اللازمة للعمليات الحيوية والنمو وبناء الأنسجة النباتية التي تدعم وتحمي الخلايا
٣. تساهم في بناء الأحماض الأمينية والنووية والبروتينات والكلوروفيل مثل النيتروجينN والكبريت S
٤. تنشط الأنزيمات، ويزداد تركيزها في الغشاء البلازمي، مثل عنصر البوتاسيوم الذي يساهم في مضخة البوتاسيوم K الضرورية في النقل الغشائي
٥. تساهم في أسمنه الجدار الهيكلي، والنقل الغشائي مثل الكالسيوم Ca
٦. ضروري للتنفس الخلوي والانقسام الخلوي، كما يدخل في مكونات مركبات الطاقة، مثل الفسفور P
٧. يدخل في بنية الكلوروفيل وتنشيط الأنزيمات مثل المنغنيز Mn
٨. يساهم في التنفس ويدخل في تركيب اليخضور كالحديد Fe الخ
٩. العناصر الغذائية تؤثر أيضا على خواص عديدة في الخلايا النباتية مثل الأسموزية ونفاذية الأغشية الخلوية وال pH



أهمية العناصر المعدنية في النبات

- تلعب دوراً مهماً في الحفاظ على الضغط الأسموزي للخلايا
- تدخل في تركيب مكونات الخلايا
- تلعب دوراً في تنظيم درجة pH في الخلية وذلك بتفاعلها مع الأحماض الموجودة بالخلية
- تلعب دوراً في إحداث التضاد وحماية الخلية من السمية
- تنشيط الأنزيمات مثل العناصر الصغرى.
- تعمل كمصدر للطاقة

امتصاص العنصر الغذائي من قبل النبات

عملية الامتصاص محصلة لعوامل كثيرة التعقيد والتداخل مع بعضها، وهي

أولا عوامل تتعلق بالعنصر الغذائي وتشمل:

١. الصورة الكيميائية للعنصر

العناصر الغذائية توجد بالتربة على صور متباينة التركيب الكيميائي فبعضها في مركبات عضوية، ومعروف أن النبات يمتص العناصر في صور معدنية بسيطة في أغلب الأحوال ولذلك فرغم وجود مقدار كبير من النيتروجين في صورة عضوية فان النبات لا يمتص من هذا المقدار الكبير إلا جزءاً صغيراً يحدده قابلية النيتروجين العضوي للتحول إلى صور معدنية بسيطة مثل الأمونيوم أو النترات وكذلك الحال في الفوسفور الذي قد يوجد بالتربة في صور رواسب لا يستطيع النبات امتصاص شيء منها إلا بعد أن يتحول جزء منها إلى صور بسيطة ذائبة في الماء.

٢. تركيز العنصـر

وجد أن مقدار ما يمتصه النبات من عنصر ما يزداد بزيادة تركيز الصورة القابلة للامتصاص منه.

٣. نظام توزيع العنصر في التربة

يتضح ذلك عند إضافة العنصر كسماد، فإضافته نثراً على السطح تعطي نظاما لتوزيع العنصر مختلف كل الاختلاف عن إضافته مركزاً بجوار جذر النبات أو خلطه بالتربة إلى عمق معين، وينعكس ذلك على المقدار الذي يمتصه النبات من العنصر خصوصاً إذا كان من العناصر التي لا تتحرك بسهولة في التربة مثل الفوسفور.



٤. تركيز ونوع الأملاح في بيئة النمو

من الظواهر المعروفة أن ارتفاع تركيز الأملاح في بيئة النمو يؤدي إلى تعطيل نمو النبات ونقص امتصاص بعض العناصر الغذائية ويختلف أثر الأملاح باختلاف أنواع الكاتيونات (عناصر ذات شحنات موجبة) والأنيونات (عناصر ذات شحنات سالبة) وتركيز كل منها.

ثانياً عوامل تتعلق بالبيئة، وتشمل:

١. صور وتركيز وتوزيع العناصر الغذائية الأخرى

يتأثر المقدار الممتص من عنصر ما بباقي العناصر الغذائية فنقص أحد العناصر الغذائية الضرورية للنبات يؤدي إلى نقص المقدار الذي يمتصه النبات من العنصر المختبر والعوامل التي تؤثر على كفاية العناصر المغذية الأخرى أثر غير مباشر على قدرة النبات على امتصاص العنصر المختبر.

٢. حموضة التربة

لزيادة أو نقص الهيدروجين أثر كبير على المقدار الممتص من عدد من العناصر، ولقد وجد أن امتصاص البورون يزداد بانخفاض الرقم الهيدروجيني، بينما في الترب الحامضية يزداد امتصاص الفوسفور بمعالجة الحموضة بإضافة كربونات الكالسيوم، أما في الترب القاعدية التأثير فالأسمدة ذات التأثير الفسيولوجي ألحامضي تزيد امتصاص الفوسفات حيث أن الفوسفور يكون متيسراً جداً في الوسط المتعادل ويحدث له ترسيب في الوسط الحمضي أو القاعدي. ويسلك عنصر المولبيديوم سلوك الفوسفور.

٣. المحتوي الرطوبي بالتربة

ذو تأثير كبير على قدرة النبات على امتصاص العناصر الغذائية، ومثالاً على ذلك انخفاض امتصاص البوتاسيوم بنسبة تتراوح بين ١٥ – ٤٥٪ عندما انخفضت نسبة الرطوبة بالتربة من السعة الحقلية ٤٠٪ إلى نحو ٣٠٪، وأيضا انخفض مقدار الفوسفور في التربة إلى ١٤٪ عندما انخفضت نسبة الرطوبة بالتربة إلى نصف السعة الحقلية.

٤. الظروف الجوية المحيطة بالنبات

تؤثر درجة الحرارة والتهوية والرطوبة النسبية على عمليات البناء في النبات وهي مرتبطة بالامتصاص الإيجابي، كما تؤثر على النتح فعندما ينتح النبات مقداراً كبيراً من الماء فإن مقدار العناصر الغذائية التي تنتقل بواسطة النقل مع الماء (والذي تعرف آليته باصطلاح الانتقال الكتلي حيث يتحرك الماء في التربة



00:04:50

نحو الجذور نتيجة الجذب المستمر له الناتج عن امتصاصه بواسطة جذور النبات) يزداد مما يؤدي إلى زيادة يسر العناصر للعناصر الغذائية التي تنتقل بهذه الطريقة.

ثالثا عوامل تتعلق بالنبات نفسه وتشمل:

١. الصفات الوراثية للنباتات والتي تنعكس على التركيب العنصري لها

٢. نوع المحتوى الجذري ومدي انتشاره

٣. عدد ومواقع التبادل الأيوني ومدى انتشار هذه المواقع على الجذور

٤. درجة نفاذية أنسجة الجذر بجانب العمليات الفسيولوجية التي يقوم بها النبات مثل التنفس والبناء والنتح

٥. عمر النبات وسرعة نموه وقدرته على المعيشة التكافلية مع الكائنات التربة الدقيقة، وهذه العوامل لا يعمل كل منها منفرداً فالواقع أن عملية الامتصاص محصلة لعوامل كثيرة التعقيد والتداخل مع بعضها والتغيرات الكيميائية التي تحدث في المنطقة الملاصقة لجذور النبات وهي ذات أثر كبير على امتصاص العناصر المختلفة، فبزيادة النتح مع توفر الماء بالتربة يزداد الانتقال الكتلي للعناصر مثل الكالسيوم مع الماء مما يمكن للنبات أن يمتصه من الكالسيوم كما يعمل على زيادة تركيز الكالسيوم حول الأسطوانة الجذرية وقد يصل التركيز في مثل هذه الحالات إلى ١٥ مرة عما كان.

تراكيز المعادن في المادة النباتية

إن المواد المكونة للنبات الحي هي المادة العضوية والماء والمعادن. إن الكميات النسبية لهذه المكونات الثلاثة قد تختلف فبالنسبة إلى مادة النبات الأخضر فان الماء يشكل الجزء الأكبر والمعادن تشكل الجزء الأصغر.

إن نسبة توزيع هذه المواد الثلاث تكون كما يأتي:

١. الماء ٧٠٠ ملغم / غرام مادة خضراء

٢. المادة العضوية ٢٧٠ ملغم / غرام مادة خضراء

٣. المعادن ٣٠ ملغم / غرام مادة خضراء

والنتائج التي توضح بشكل كبير محتويات النبات للماء موجودة في الجدول(٥). والمعادن تشكل جزءاً صغيراً من مادة النبات ولكنها ذات أهمية كبيرة حيث تمكن النبات من بناء المادة العضوية (عملية التركيب الضوئي).



إن المصطلح content و concentration في كثير من الأحيان يستخدمان كمرادفين ولكن من المهم التمييز بينهما. إن النظام العالمي (SI=International System) يعتمد الوحدات المترية (metric units).

إذا ما أريد استخدام وحدات لكمية الوزن أو الحجم فهي غرام (g) و م^{3} فهاتان الوحدتان ترمزان للكمية أما إذا أريد استخدام وحدات التركيز للوزن والحجم فهي ملغم / كغم أو مللتر/ م^{3}. مما تقدم كان واضحاً بان الوزن تمت إعادته إلى وحدة وزنية، والحجم المعطى تمت إعادته إلى وحدة حجمية. إن الوحدات ٪ و ppm يمكن أن تحدث إرباكاً وهي قليلة الاستعمال في الوقت الحاضر (outdated). أن تركيز ٥٠ جزء بالمليون من Fe في المادة الجافة للنبات هي ٥٠ ملغم Fe/ كغم مادة جافة أو ٥٠ ملغم Fe. كغم$^{-1}$ مادة جافة، والتربة التي تحتوي على ١٨٪ طين فان التركيز هو ١٨٠ غرام كغم$^{-1}$ تربة. من الوجهة الفسيولوجية يكون أكثر ملاءمة تمثيل التركيز بالمول (moles) ومثال على ذلك ٠.٥ مول NO_3^- م$^{-3}$ في محلول التربة (0.5 mmol L-1) وبالوحدات القديمة (0.5 mmolar = 0.05 mM). إن النظام العالمي الجديد لا يستخدم مصطلح molar الآن بل استبدله بوحدة أخرى ومثال على ذلك فان الكمية في الوزن أو مول بوحدة الحجم.

من هنا فان المحلول ٥ ملمول (mmol/liter=5) وهي 5mol m^{-3}. إن المقام (denominator) له شحنة سالبة وهذا يعني مقسوم بعدد ويمكن أن تستبدل بالعلامة (/) وهذا الأسلوب سوف يستخدم في هذا الكتاب وهذا يعني أنه يجب استخدام الوحدة dcm^{3} بدلاً من (L) اللتر. ولكن لكونها وحدة مترية وتستخدم بشكل واسع في قياس المحاليل فإننا سوف نستخدمها ونستخدم الوحدات الصغيرة لوحدة اللتر مثل (ml). بدلاً من الطن (t) لأن النظام العالمي (SI) يستخدم (Mg) Megagramme وهي (106g). واستخدام Megagramme (Mg) سوف لا يحدث إرباكاً مع الرمز الكيمياوي لعنصر المغنيسيوم (Mg).

إن النظام القياسي (SI) قد تم تنظيمه بشكله الحالي في عام ١٩٦٠ والذي يعتمد على استخدام الوحدات المترية. في هذا النظام فان وحدة الطول هي المتر (m)، ووحدة المساحة هي المتر المربع، ووحدة كتلة الحجم هي الكيلوغرام (kg).



الجدول ٥: المحتوى المائي لمختلف مواد وأجزاء النبات مقاسة بالنسبة المئوية للوزن الرطب

مادة النبات الخضراء الحديثة السن	٩٠-٩٥
الجذور الحديثة السن	٩٢-٩٣
الأوراق القديمة	٧٥-٨٥
القش (التبن) لمحاصيل الحبوب الناضجة	١٥-٢٠
الحشيش المجفف للعلف	١٥
بذور محاصيل الحبوب	١٠-١٦
البذور الناضجة	٧-١٠
أثمار الطماطم	٩٢-٩٣
البرتقال	٨٦-٩٠
التفاح	٧٤-٨١
الموز	٧٣-٧٨
درنة البطاطا	٧٥-٨٠
جذور البنجر السكري	٧٥-٨٠

إن المحتوى المعدني للنبات يرمز له على أساس الوزن الجاف لمادة النبات الذي يحصل عليه بعد تجفيف مادة النبات الخضراء في درجة حرارة ١٠٥ درجة مئويةً حتى يزال كل الماء الذي يحتويه النبات الأخضر. في المصطلحات القديمة فان التراكيز للعناصر الغذائية في المادة الجافة يرمز لها بأشكال مختلفة مثل 4.3%K، $3mg\ P\ g^{-1}$ أو 130 ppm Mn، المصطلح ppm يعني parts per million ومثال على ذلك 130 parts of Mn per 1,000,000 per إلى أساس الوزن (weight) لكل منهما في المادة الجافة. وكما وضح مسبقاً فان الإرباك يمكن أن يحصل باستخدام ٪ و ppm ولكن المفضل هو استخدام وحدة الوزن أو وحدة الحجم لتفسير التراكيز. ومثال على ذلك 4.3٪k يكون أفضل لو رمز له $43mg\ Kg^{-1}$ مادة جافة. ما يحتويه النبات وأجزاؤه من العناصر المعدنية ذو تأثير فسيولوجي وتطبيقي.



العامل الرئيس الذي يسيطر على محتوى مادة النبات من العناصر المعدنية هو العامل الوراثي الثابت للجهد الخاص بامتصاص العناصر الغذائية. وهذا العامل يفسر الحقيقة بان ما تحتويه مادة النبات الأخضر من النتروجين والبوتاسيوم هو أعلى بعشرة أضعاف من الفسفور والمغنيسيوم والتي بدورها توجد بكميات هي أعلى بـ ١٠٠-١٠٠٠ ضعف من العناصر الصغرى. وهذا مثال نموذجي عام لكل فصائل النبات. وبين الفصائل النباتية هناك اختلاف ملحوظ بالنسبة إلى ما تحتويه من العناصر المعدنية وهذا أيضا يعود إلى العامل الوراثي، تمت زراعة ٢٠ نوعية مختلفة من الفصائل النباتية في محلول غذائي متشابه وقدر محتوى هذه النباتات من العناصر المعدنية فوجد بأن الفصائل النباتية لا تختلف اختلافاً كبيراً بما تحتويه من البوتاسيوم ولكن هناك اختلاف ملحوظ فيما يحتويه الفصائل النباتية من الكالسيوم والمغنيسيوم والسليكون. وقد اختلفت هذه الفصائل النباتية اختلافاً كبيراً في كمية ما تحتويه من الصوديوم والمنغنيز وكانت كل من الفصيلتين الـ (*Atriplex hortense*) والـ *Vicia* ذات قدرة كبيرة على امتصاص الصوديوم والفصائل النباتية *Lactuca* و *Pisum* ذات قدرة كبيرة على امتصاص المنغنيز من بين الفصائل النباتية الأخرى. وهذه الفصائل النباتية الأربع كانت تحتوي على الصوديوم والمنغنيز بمقدار هو أكثر ٦٠ ضعفاً مما تحتويه الفصيلتين Zea و Fagopyrum من الصوديوم والفصيلتين Salicornia و Nicotiana من المنغنيز.

إن تراكيز العناصر الغذائية في الأنسجة النباتية تعتمد بدرجة كبيرة ونسبياً على المواد الخلوية المتواجدة في جدار الخلية والسيتوبلازم وفجوة الخلية. جدر الخلية تكون غنية بالكالسيوم وكذلك على تركيز لابأس به من المغنيسيوم، ولكنها ذات محتوى قليل من N و P و K. بما أن أجزاء النبات الكبير السن تكون متخنة فان جدر الخلية ذات المحتوى العالي من اللكنين تكون غنية بالكالسيوم الذي يكون بشكل عام مرتبطاً بمجاميع الكربوكسيلية ولكنها - أي جدر الخلية – تكون ذات محتوى واطئ من N و P و K. السيتوبلازم يكون غنياً بالنتروجين و p و K. إن المحلول الخلوي للسيتوبلازم الذي لا يضم النواة والميتاكوندريا والبلاستيدات يكون غنياً بالنيتروجين والبوتاسيوم، وقد يصل تركيز البوتاسيوم إلى ١٥٠ مول/م٣ ولكن تركيز الكالسيوم يكون واطئاً جداً ويصل من 10^{-3} – 10^{-5} مول / م٣. الفجوة توفر محلاً لخزن مختلف المحاليل التي تضم العناصر الغذائية للنبات مثل P و NO^{-3} و K و Mg^{+2} و Ca^{+2} وعناصر تنظيم الأسموزية مثل Na^{+} و Cl^{-}. إن تركيز العنصر الغذائي في فجوة الخلية يعكس – اعتيادياً – الحالة الغذائية للنبات، ومثال على ذلك إذا كان تركيز K في فجوة الخلية عالياً فهذا يدل على أن



00:05:01

النبات قد جهز بشكل جيد بالبوتاسيوم. والشيء نفسه يكون صحيحاً مع الفسفور والنترات. التراكيز الواطئة للعناصر الغذائية في فجوة الخلية تعكس التغذية الفقيرة للنبات. هذه الحقيقة الفسيولوجية هي الأساس في تحليل النبات وأنسجته كوسيلة لمعرفة الحالة الغذائية للنبات وأجزائه. ولهذا فان تركيز العنصر في النبات يعتمد أيضا على جاهزية العناصر الغذائية في التربة.

التحليل النباتي الذي يمثل المحتوى من العناصر يعتمد بصورة عامة على المادة الجافة للنبات، لكون أن المادة الجافة للنبات يمكن أن تخزن وتحتفظ بها بشكل أسهل مما هو عليه مع المادة النباتية الخضراء. الأنسجة النباتية التي تحتوي على نسبة عالية من الماء مثل الأوراق الحديثة أيضا تتصف بخلايا ذات فجوات كبيرة وسيتوبلازم كبير وجزء صغير يشغله جدار الخلية. وهذه الأنسجة يلاحظ فيها تراكيز عالية من N و P و K على أساس المادة الجافة، عندما يفقد الماء خلال عملية تجفيف العينات النباتية التي خلالها يفقد النبات من وزنه الشيء الكثير. هذا هو السبب الرئيس لوجود تراكيز عالية من N و P و K في النباتات الصغيرة السن وأجزاء النبات الحديثة التكوين. الأوراق القديمة وكذلك الجذور والسيقان القديمة والأجزاء النباتية الأكثر نضجاً يكون محتواها من Ca و Mn و Fe و B غنياً. عندما تكون هذه العناصر مرتبطة بجدر الخلية بتراكيز عالية نسبياً. إن امتصاص العناصر الغذائية يكون اكبر من بناء المادة الجافة للنبات وذلك منذ بزوغ النبات حتى تكون التفرعات وترتفع تراكيز كل من N و P و K في النبات. بعد مرحلة تكون التفرعات تكون هناك زيادة في نمو النبات وانخفاض في تراكيز N و P و K. في المراحل الأخيرة لنمو النبات يكون بناء المادة الجافة للنبات أعلى من معدلات امتصاص العناصر الغذائية من قبل نبات الشوفان.

إن تراكيز العناصر المعدنية في نباتي الشوفان واللفت موضحة في الجدول (٦) تراكيز N، P، Mg و K هي تقريباً ثابتة لمختلف أنواع النباتات عند مرحلة نمو فسلجيه متشابهة. تراكيز الكالسيوم بشكل عام هي أعلى في النباتات ذوات الفلقتين مما هو عليه في النباتات ذوات الفلقة الواحدة والسبب يعود إلى اختلاف تركيب جدار الخلية في كل من المجموعتين. تراكيز الصوديوم ربما تختلف بشكل واسع وهي بشكل عام أعلى في الـ Halophytes مما هو عليه في الـ glycophytes. تراكيز الحديد والمنغنيز لربما هي أيضا تختلف معتمدة بشكل كبير على نوعية النبات والظروف المناخية. في الجدول (٦) تراكيز العناصر الممثلة بالوحدة ملغم غرام^-١ ($mg\ g^{-1}$ DM) مادة جافة تعود للعناصر الغذائية المتواجدة بتراكيز عالية، بينما العناصر



التي تتواجد بتراكيز واطئة في النبات فان الوحدة التي تمثلها هي ميكروغرام غرام$^{-1}$ مادة جافة ($Ug\ g^{-1}DM$)

ويجب أن نوضح بأن هذه التراكيز هي التراكيز الكلية للعنصر الغذائي والتي تضم أشكال وصور العنصر الغذائي المختلفة المتواجدة، ومثال على ذلك عنصر النيتروجين على شكل نترات وأمونيوم والأمينات الحاوية على النيتروجين (amino N) وأشكال النيتروجين العضوية الأخرى. في مادة النبات الحديث التكوين يكون معظم النتروجين بصورة amino N والتي مصدرها البروتينات الأنزيمية (enzyme proteins) المتواجدة بشكل رئيس في السيتوبلازم. وفي حالة الحبوب (مثال: حبوب الشوفان) فان معظم النيتروجين يتواجد بشكل amino N العائد للبروتينات المخزونة. أما الكبريت فانه ربما يتواجد بالأنسجة النباتية بشكل عضوي وغير عضوي. الفسفور يتواجد بشكل phosphate esters، أو فسفور معدني، أو H_2PO^{4-} أو HPO_4^{2-} أو كليهما معاً اعتماداً على درجة التفاعل (ambient pH). تركيز الفسفور في مادة النبات يمثل بالوحدة ملغرام p غرام$^{-1}$ (mg/g) مادة نباتية. البوتاسيوم يتواجد بشكل أيوني (K^+)، والشيء نفسه مع الصوديوم (Na^+) والكلوريد (Cl). الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد ربما تتواجد بشكل معقد كما وضح مسبقاً ولهذا فان تراكيز هذه العناصر تمثل بالوحدة ملغرام (mg) Ca، Mg و Fe بوحدة مادة النبات. البوتاسيوم يتواجد بشكل رئيس في ماء النسيج النباتي، حيث انه إذا مثل تركيز K^+ استناداً إلى المادة الجافة للنبات ذات المحتوى الواطئ من الماء مثل البذور والحبوب فإنها أيضا ذات محتوى واطئ من K^+ بينما في أجزاء النبات ذات المحتوى العالي من الماء مثل الثمار فإنها تكون غنية بمحتواها من K^+.

من الناحية العملية يكون استعمال المحتوى المعدني للنبات اعتماداً على المادة الجافة الأكثر ملاءمة عند حساب ما امتصه النبات كلياً من العناصر الغذائية أو عند استعمال تحليل النبات لمعرفة جاهزية العناصر في التربة. ومن الناحية الفسيولوجية يكون أكثر ملاءمة إذا رمز لتركيز العناصر الغذائية في النبات إلى الوزن الرطب بشكل ملي مول (mM) ومثال على ذلك ٥ ملمول Ca كغم$^{-1}$ مادة رطبة، وهذا يعطي وضوحاً أكثر لما تحتويه خلية النبات من التركيز المعدني. وقد تستعمل هذه الرموز أيضا في حالة توضيح التركيز أو الجزيئات العضوية للأحماض الأمينية والأحماض العضوية والسكريات. بالإضافة إلى ذلك فان اعتماد الحالة الرطبة للنبات لتحديد تراكيز العناصر الغذائية ممثلة بالمول. م$^{-3}$ (mol/m^3) هي أسهل في تمييز الحالة الفسيولوجية للنبات في الكثير من الأحيان ومثال على ذلك تأثير العمر (age) على ما تحتويه



الجدول ٦: المحتوى من العناصر المعدنية لمختلف مواد النبات

العنصر	الأجزاء العليا من نبات الشوفان في مرحلة تكوين الأفرع	حبوب الشوفان	قش الشوفان	اللفت في مرحلة النمو الخضري
ملغم / غم مادة جافة				
N	٣٩	١٧	٤.٥	٥٦
P	٤.٤	٤.٣	١.٢	٤.٩
S	٣.٢	٢.٨	٣.٣	٩.٣
Cl	١٥	٢.٧	١٤	١٢
K	٤٣	٦.٤	١٤	٤٦
Na	٥.٣	٠.٢	٣	١.٣
Ca	٩.٤	٢.٢	٩	٢.٩
Mg	٢.١	١.٢	١	٢
مايكرو غرام / غرام في المادة الجافة				
Fe	٧٤	٥٣	٨٥	٥٥٠
Mn	١٣٠	٨٠	٥٠	٢٥٠
Cu	٧	٣	٢.٣	٧
B	٦	١.١	٧	٣٥
Mo	٢	١.٦	١	–

أجزاء النبات من العناصر المعدنية. بصورة عامة إن محتوى المادة النباتية للماء يكون أكثر في أجزاء النبات الحديثة التكوين وبهذا فان الأجزاء الحديثة التكوين تكون غير غنية بالنتروجين والفسفور والبوتاسيوم كما يعتقد حدوثه من تحليل المادة الجافة للنبات. أن محتوى نبات *Sinapis alba* من البوتاسيوم والنترات (NO_3) اعتماداً على الوزن الرطب للنبات يكون ثابتاً تماما خلال فصل النمو وهذا مما يؤكد بأن النبات



قد جهز بكميات مناسبة من هذه العناصر. نتائج مشابهة أشرت هذا (Constancy) لتركيز K^+ عندما يقدر استناداً على المادة الرطبة للنبات. وفي تجارب مع نبات الشعير لاحظا بان البوتاسيوم في المادة الجافة بشكل عام يقل خلال نمو النبات، بينما تركيز K^+ في الماء النسيجي للنبات يبقى ثابتاً عند ٢٠٠ ململول كغم$^{-1}$ نسيج مائي (tissue water). العناصر الغذائية للنبات وتراكيزها في عدد من أنواع النباتات.

والجداول (٧ إلى ١٢) تمثل الحدود الحرجة للعناصر الكبرى والصغرى في التربة، وقيم هذه العناصر في المحاصيل المختلفة (الموصلي، ٢٠١٣)

الجدول ٧: الحدود الحرجة للعناصر الكبرى في التربة

جزء بالمليون	منخفض	جيد	عالي
النترات NO_3	اقل من ١٠	١٠-٢٠	٢٠+
الفوسفور (اولسن)	اقل من ١٠	١٠-٢٠	٢٠+
البوتاسيوم	اقل من ١٥٠	١٥٠-٢٥٠	٢٥٠+
الكالسيوم	اقل من ١٠٠٠	١٠٠٠-٢٠٠٠	٢٠٠٠+
المغنيسيوم	اقل من ٥٠	٥٠-١٥٠	١٥٠+
الكبريت (كبريتات)	اقل من ٢	٢-١٥	١٥+

الجدول ٨: الحدود الحرجة للعناصر الصغرى في التربة

جزء بالمليون	منخفض	جيد	عالي
بورون	اقل من ٠.٥	٠.٥-٢	أكثر من ٢
خارصين	اقل من ١	١	أكثر من ١
نحاس	اقل من ٠.٥	٠.٥	أكثر من ٠.٥
منغنيز	اقل من ٢	٢	أكثر من ٢
الحديد	اقل من ٤	٤	أكثر من ٤
المولبيديوم	اقل من ٠.١	٠.١	أكثر من ٠.١



الجدول ٩: محتوى أشجار الفاكهه من العناصر الكبرى

(القيم تمثل محتوى الملغرام في الخضري)

المحصول	الانتاجية	٪ من الوزن الجاف				
	طن.هكتار$^{-١}$	نتروجين	فوسفور	بوتاسيوم	كالسيوم	مغنيسيوم
الحمضيات	٢٠–٢٦	٢.٥	٠.٢	١.٣	٣.٠	٠.٤
العنب	١٥–٢٠	٢.٤	٠.٢	١.٤	١.٢	٠.٤
الزيتون	٨–١٢	١.٧	٠.٥	١.٢	١.٥	٠.٣
التفاحيات	٢٠–٢٥	٢.٣	٠.١٨	١.٦	٠.٣٥	٠.٣٢
النواة الحجرية	١٨–٣٦	٢.٨	٠.١٨	١.٨	١.٧	٠.٥
التين	٧–١١	٢.٢	٠.٦	٠.٩	٤.٠	٠.٩

الجدول ١٠ :محتوى الخضر من العناصر الكبرى

(القيم تمثل محتوى الملغرام في الخضري)

المحصول	الانتاجية	٪ من الوزن الجاف				
	طن.هكتار$^{-١}$	نتروجين	فوسفور	بوتاسيوم	كالسيوم	مغنيسيوم
الورقية	–	٢.٨–٣	٠.٤–٠.٧	٢.٧–٥.٩	٢.٧–٥.٩	٢.٧–٥.٩
الدرنات	٥٠–٧٠	١.٤–٨	٠.١٦–٠.٢٥	٠.٢–٣.٠	١.٤–٨.٢	٠.٥–١.٠
الزهرية	١٥–٣٥	٣.٥–٥	٠.١٤–٠.٢٦	٢.٧–٣.٩	١–٢.٩	٠.٢–٠.٦
البصلية	٥٠–٧٠	٠.٢–١	٠.٢–٠.٨	٢.٣–٣.٣	٠.١–٠.٢	٠.٠٢



الجدول ١١: محتوى الفاكهه من العناصر الصغرى

(القيم تمثل محتوى الملغرام في الخضري)

المحصول	الانتاجية	(جزء لكل مليون) من الوزن الجاف				
	طن.هكتار$^{-1}$	الحديد	المنغنيز	الخارصين	النحاس	البورون
الحمضيات	٢٠-٢٦	٦٠-١٢٠	٢٥-٢٠٠	٢٥-١٠٠	٥-١٥	٣٥-١٠٠
العنب	١٥-٢٠	١٠٠-١٦٠	٣٥-٢٠٠	٣٥-١٠٠	٥-١٥	٣٠-١٠٠
الزيتون	٨-١٢	١٢٠-٤٠٠	٣٥-١٦٠	٢٥-٨٥	٤٠-٨٠	١٠-٢٠
التفاحيات	٢٠-٢٥	٦٠-٣٠٠	٥٠-١٢٠	٣٠-٥٠	٥-٢٠	١٠-٢٠
نواة حجرية	١٨-٣٦	١٠٠-٢٥٠	٥٠-١٥٠	٢٠-٥٠	٥-١٥	٢٠-٥٠
التين	٧-١١	٣٠-١٠٠	٢٠-٥٠	٧-٢٠	٢٥-٤٠	١٠-٢٠

الجدول ١٢: محتوى الخضر من العناصر الصغرى

(القيم تمثل محتوى المجموع الخضري)

المحصول	الانتاجية	(جزء لكل مليون) من الوزن الجاف				
	طن.هكتار$^{-1}$	الحديد	المنغنيز	الخارصين	النحاس	البورون
الورقية	-	١٠٠-٢٩٠	٥٠-٢٠٠	٣٠-٨٠	١٠-١٥	٣٠-٩٠
الدرنات	٥٠-٧٠	١٠٠-٦٠٠	٤٠-٢٤٠	١٠-٥٠	٥-٢٥	٢٥-٧٥
الزهرية	١٥-٣٥	٥٠-٣٠٠	٥٠-٢٠٠	٢٠-٢٠٠	٥-٣٠	٢٥-٦٠
البصلية	٥٠-٧٠	١٠٠-٥٠٠	٥٠-٢٠٠	٢٥-٢٥٠	٥-١٥	٣٠-١٠٠




تمتص الشجرة ضوء
الشمس بواسطة
أوراقها
تمتص الشجرة الماء والأملاح المعدنية من الأرض بواسطة جذورها



الفصل الخامس

امتصاص العناصر الغذائية

توجد العناصر الغذائية الضرورية للنبات في التربة أما بصورة مركبات معدنية أو عضوية ذائبة في محلول التربة على صورة أيونات موجبة الشحنة تعرف بالكاتيونات أو بصورة أيونات سالبة الشحنة تعرف بالانيونات وقد يمتص العنصر بصورة مخلبية. ويتم انتقال الأيونات والأملاح إلى داخل الخلايا بواسطة الغشاء الحيوي الذي يحدد نوعية المواد وتركيزاها الداخلة للخلية ويتم هذا الانتقال عبر الغشاء الحيوي بطريقتين

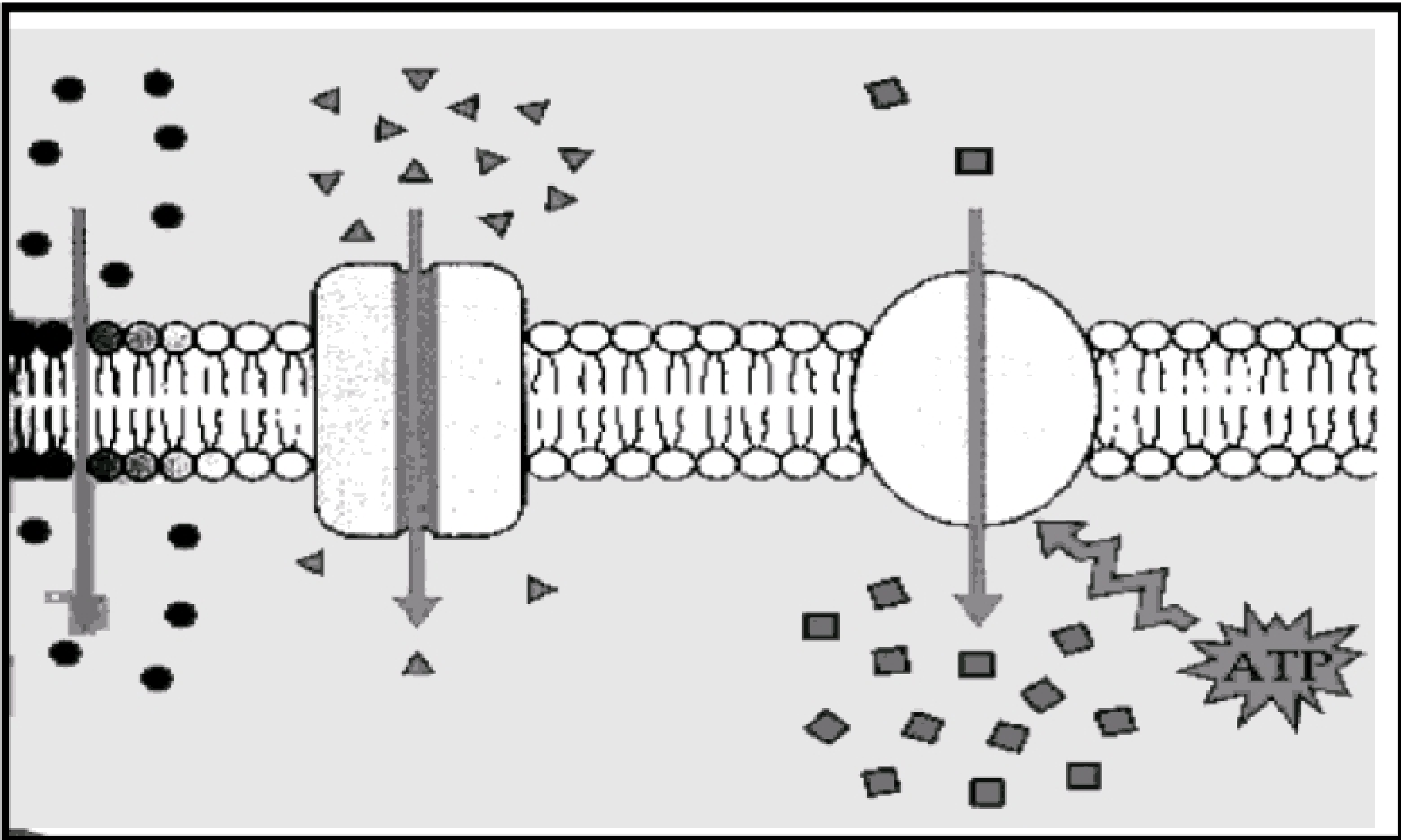
الأولى: هي الانتقال أو الامتصاص النشط "Active transport " Uptake

والثانية: هي الانتقال أو الامتصاص البسيط "Passive transport "Uptake

ويجب أن نعرف أن المواد التي تدخل الخلايا تنقسم إلى نوعين من

الأول/ مواد ذات أحجام أو أوزان جزيئية صغيرة ومواد ذات أوزان جزيئية كبيرة

الثاني/ مواد مشحونة أو قطبية ومواد غير مشحونة أي غير قطبية





شكل يوضح أنواع الامتصاص حيث يمتص النبات مغذياته بطريقتين أما امتصاصا سلبيا أو امتصاصا نشطا

الانتقال أو الامتصاص النشط

وهو يحدد انتقال المواد أو الأيونات عكس التدرج في التركيز أي من المنطقة ذات التركيز المنخفض إلى المنطقة ذات التركيز المرتفع وهذا ما يجبر الخلية على صرف الطاقة. وتعد هذه العملية من العمليات الفسيولوجية المهمة التي تجري في أغشية الخلايا النباتية وغشاء الفجوة Tonoplast وتعد الفجوة المحل المهم الذي تتجمع فسه الأيونات المختلفة السالبة والموجبة وبكميات متكافئة كهربائيا. وقد أطلق على هذا النوع من النقل الأيوني بالنقل أو الامتصاص النشط Active transport ويمتاز بعدة خصائص

١. العملية تتطلب صرف طاقة حيوية لدفع الأيونات إلى داخل الخلية

٢. العملية تتخصص في امتصاص بعض الأيونات بكمية اكبر من الأخرى

٣. يمتاز الامتصاص النشط بحركة الجزيئات عكس تدرج التركيز (من التركيز الواطئ إلى التركيز الأعلى).بحيث يتم تجميع الأيونات في الخلية اكثر مما في خارج الخلية أي عدم الوصول في النهاية إلى حالة التوازن الديناميكي بين داخل الخلية وخارجها وتكون عملية تجميع الأيونات مستمرة حتى لو كان تركيز الأيونات في الخلايا أكثر مما في محلول التربة بمئات المرات أو أكثر، أو وجود اختلاف في نوعية وكمية أيونات الأملاح في داخل الخلية مقارنة مع خارج الخلية.

٤. يحدث في الجزء الداخلي من الخلية النباتية المسمى inner space او symplast والذي يشمل السيتوبلازم وغشاء البلازما وغشاء الفجوة tonoplast. وتعتبر الفجوة المحل الذي تتجمع فيه الأيونات السالبة والموجبة بكميات متكافئة كهربائيا.

٥. ان عملية امتصاص العناصر تتطلب الحصول على طاقة التي تتولد نتيجة لعمليات الهدم التي تحصل داخل الخلية وبناء على ذلك تبدو العلاقة بين التنفس وعملية امتصاص الأيونات في الكائنات الحية الهوائية واضحة، وتعتمد جميع العمليات الحيوية التي تتطلب طاقة على مركبات ATP ويصنع ATP من خلال عملية التنفس (الفسفرة الضوئية) والفسفرة غير الهوائية ومن خلال عملية التركيب الضوئي ولهذا تظهر أهمية الضوء في عملية الامتصاص الأيونات

٦. بسبب كون النقل النشط عملية بيولوجية تعتمد على توفير الأوكسجين وتقل في الظلام ويتأثر بوجود المواد السامة أو المثبطة وكذلك بارتفاع أو انخفاض درجة الحرارة فقد وجد أن العامل الذي يزداد فيه معدل



العملية البيولوجية (مثل الامتصاص النشط) بارتفاع درجة الحرارة يسمى المعامل الحراري Temperature Coefficient.

وتحاول نظريات الامتصاص النشط (الحيوي) تفسير ما عجزت عنه النظريات السابقة من إمكانية امتصاص النبات للعناصر وتراكمها في الفجوة العصارية ضد تدرج التركيز وكذلك كيفية امتصاص النبات للأنيونات السالبة الشحنة واختراقها لسطح الجذر ذات الشحنة السالبة، ومن هذه النظريات

أولا: نظرية الناقل (المواد الحاملة) Carrier Theory

ثانيا: مضخة الأيونات Lundegardh Theory or Cytochrome pump

ثالثا: صعود الأيونات من الجذر إلى الأجزاء الهوائية

ويوجد حاليا اتجاهان أساسيان غير مستقلين تماما يتعلقان بعملية اخذ أو امتصاص العناصر عن طرق الامتصاص النشط الذي يحتاج إلى طاقة يختص احد هذين الاحتمالين بنظرية الحوامل Carrier Theory بينما يركز الأخر على أهمية مضخة الأيونات من خلال الغشاء.

أولا: نظرية الحوامل Carrier Theory

افترضت هذه النظرية أن الأغشية الحيوية تحتوي على جزيئات معينة غالبا بروتينية تسمى بالحوامل أو Carrier Protein لكونها قادرة على حمل الأيونات من خلال الغشاء ويعتقد أنها تمتلك مواقع ربط خاصة Receptors لأنواع معينة من الأيونات بحيث تساعدها في نقل الأيونات بصورة اختيارية من خلال الغشاء.

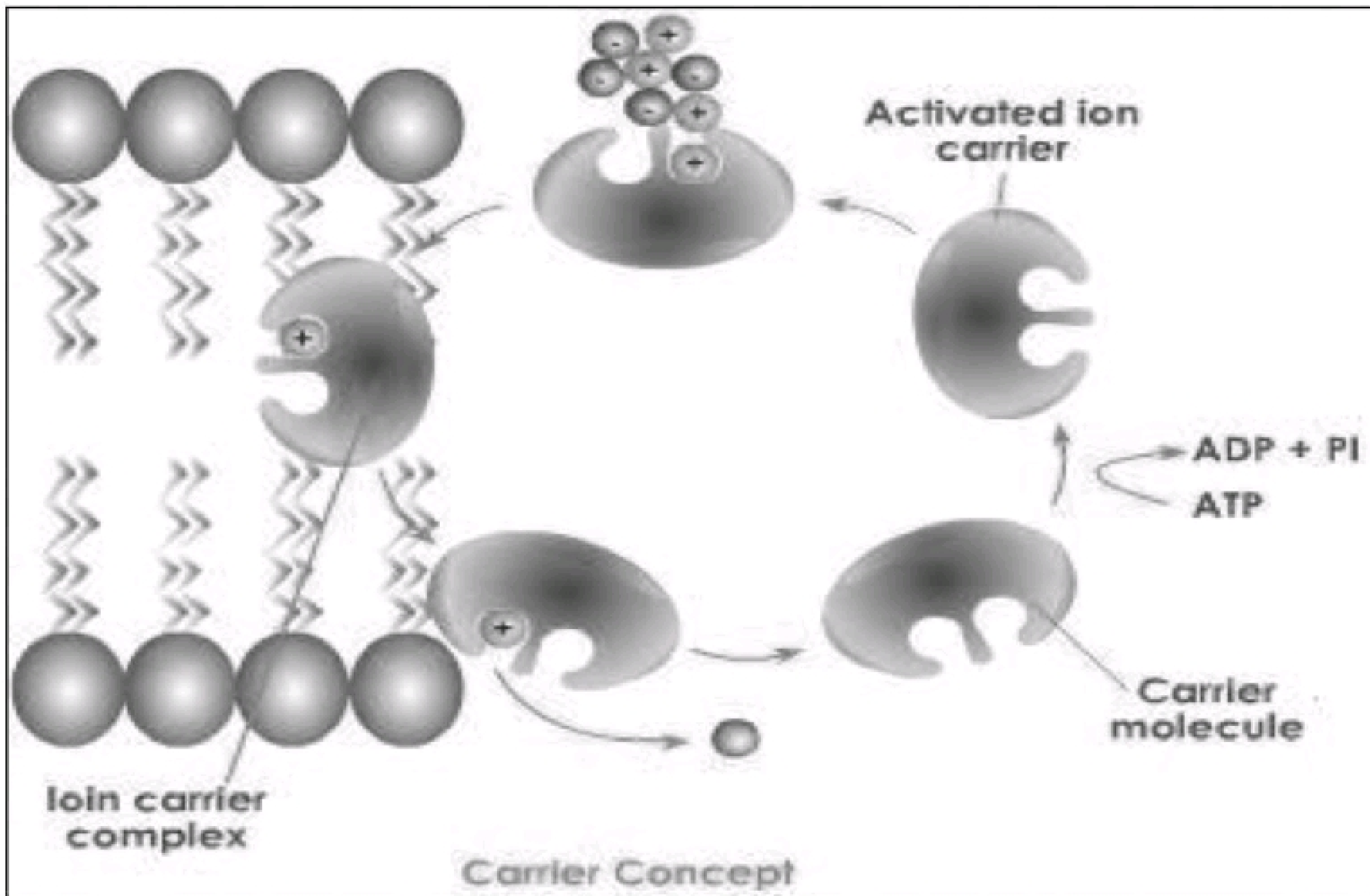
الجزيئات الحاملة او البروتينات القنوية ممكن ان يتم خلالها الدخول جزيئات او أيونات دون استخدام الطاقة وذلك في حالة كون تركيز مثل هذة المركبات في الخارج اعلى من الداخل أي ان الحركة في هذه الحالة مع التدرج في التركيز Down Concentration.

ولكن في حال العكس أي ان التدرج عكسي Up Concentration فستتم هذه العملية بوجود الطاقة الممثلة بـ ATP وبعض الأنزيمات كأنزيم الكاينيز Kinase أو الفسفوكاينيز phosphokinase بالإضافة إلى أنزيم "phosphatase".

تتم عملية تنشيط الحامل الأيوني بواسطة الطاقة الناتجة من تحليل ATP إلى ADP ويرتبط الحامل بالفسفور فيصبح حامل مفسفر، وهذا الحامل المفسفر يقوم بالانتشار عبر الغشاء الخلوي ويرتبط بأيونات معينة عند ارتباطه بها يكون ما نسميه "مُعقد الحامل"Carrier-ion complexe" وبعد مرور هذا



الحامل المعقد عبر الغشاء حاملاً معه الأيون اللازم إدخاله يتم فصل وفك مجموعة الفوسفات من الحامل المعقد وبالتالي فإنه يعتقد أنه في نفس اللحظة يفقد الحامل الأيون الذي ينطلق داخل السيتوبلازم.



Carrier Concept

تتم عملية الحصول على ATP من عملية التنفس وهو يعتبر المولد أو المنشط للحامل أما في النباتات أو الكائنات التي لا تتنفس هوائياً (Anerobics) فمن الثابت أن الحصول على ذلك يتم بواسطة التحلل Glycolysis.

يمكننا أن نلاحظ من خلال ماسبق أن عملية انتقال الأيونات قد تم عكس تدرج التركيز وذلك مخالفاً للقاعدة المعروفة وقد تم ذلك بمساعدة الحامل وبمساعدة الأنزيمات المحللة والرابطة.

تعتبر هذه النظرية (نظرية الحامل) صحيحة وقد تم دعمها بعدة ملاحظات ودلائل هي:

١. وجود الغشاء الغير مُنفذ الذي يمنع انتقال الأيونات الحرة عبره، يدل على أن هناك وسيط (حامل) يعمل على نقل الأيونات عبر الغشاء، وقد ساعدت الأيونات المشعة على الكشف عن هذه الملاحظة.اذ وجد ان الأيونات الممتصة حيويا لا يمكن ان تخرج خارج الخلية او تتبادل مع أيونات من النوع نفسه موجودة في الوسط الخارجي.



00:05:36

٢. عملية امتصاص الأيونات اختيارياً وبمعدلات مختلفة وتراكمها داخل الجذور بنسب مختلفة تدل على وجود حوامل متخصصة لكل أيون وخصوصاً للأيونات ذات السلوك الكيميائي (التكافؤ) الغير متشابه، فعلى سبيل المثال فإن البوتاسيوم، والسيزيوم، والروبيديوم أحادية التكافؤ تتنافس مع بعضها البعض على نفس أماكن الارتباط في الحامل Receptors وهذا يعني أن معدل امتصاص أي منهما يقل بإضافة الاثنان الآخرين أو إحداهما في الوسط وعلى هذا الأساس فإن الصوديوم مختلف التكافؤ يرتبط بمكان آخر غير مكان العناصر الثلاثة السابقة وهذا ما نسميه بالتخصص للحامل Specificity.

٣. فكرة التشبع أو تشبع الوسط بالملح تؤيد أيضا نظرية الحامل حيث أن معدل الامتصاص ينعدم عندما يكون الوسط الخارجي المحيط في حالة تشبع بالملح وأن زيادة تركيز الأملاح في هذه الحالة لا تؤثر ولا تزيد من معدل الامتصاص. وهذا يعني وبناء على فكرة الحامل أن جميع المواقع النشطة (Receptors) على الحوامل مشغولة حيث بمجرد أن يطلق الحامل الأيون في الوسط الداخلي (داخل الغشاء) فإنه في الحال يشغل بأيون آخر من المساحات الخارجية (خارج الغشاء) وبالتالي وعند نقطة التشبع تكون الدورة دائماً في حركة مستمرة ولا تستطيع أن تسير أكثر من ذلك حتى بزيادة تركيز الملح.

ثانيا: نظرية مضخة الأيونات Cytochrome pump

وتفترض هذه النظرية أن عملية الامتصاص تخضع للأسس التالية:

١- هناك انفصال تام بين كل من عمليتي امتصاص الأنيونات والكاتيونات

٢- امتصاص الكاتيونات عملية فيزيائية طبيعية بحتة وتتم على خطوتين:

الأولى فيها يتحرك من خارج الخلية إلى داخل السيتوبلازم، وهنا تعتبر على أنها عملية تبادل أيوني بين الكاتيون والهيدروجين المتأين من بعض المركبات العضوية في البروتوبلازم

والثانية يتم فيها انتقال الكاتيون من سيتوبلازم الخلية إلى داخل الفجوة العصارية ويطلق على هذه الخطوة عملية التجمع أو التراكم Accumulation

كذلك عملية امتصاص الكاتيون عملية عكسية بمعنى أن الكاتيون يمكن أن يتحرك بحرية خلال السيتوبلازم في اتجاه الداخل أو الخارج نحو جدار الخلية.

ثالثا امتصاص الأنيونات عملية كيميائية بحتة ويمكن إثبات إن امتصاص الأنيونات عملية كيماوية، بقياس المعامل الحراري لهذه العملية حيث يزيد عن ٢.



00:05:39

وتتم عن طريق جزيئات حاملة من السيتوكروم، كما أنها عملية غير عكسية أي أن الأنيون بعد دخوله من غشاء (البلازما لما)، لا يمكنه الرجوع ثانية إلى الخارج، تحت الظروف الطبيعية. ولكنه يتجه، مباشرة، محمولا على جزيئات السيتوكروم، تجاه الفجوة العصارية، وتتم عملية امتصاص الأنيونات ضد تدرج التركيز وكذلك ضد تشابه الشحنة.

رابعا يكون التنفس الأنيوني مسئولاً عن كمية الطاقة اللازمة لعملية امتصاص الأنيونات ضد تدرج التركيز وضد تشابه الشحنة.

وقد تمكن (لوندا جارد) من تثبيط هذا النوع من التنفس بإضافة أول أكسيد الكربون أو السيانيد، حيث تعمل هذه المواد على إيقاف عمل إنزيمCytochrome oxidase، وكان ذلك أحد الأدلة التي اعتمد عليها في إثبات أن نظام السيتوكروم هو المسئول عن عملية امتصاص الأنيونات وقيامها بعمل المادة الحاملة لها.

ميكانيكية عملية امتصاص الأنيونات حسب نظرية (لوند جارد):

التبادل الأيوني عبر الاغشية الخلوية النباتية يصبح ممكنا بوجود بروتينات غشائية مندمجة مخترقة للغشاء Transmembrane proteins والتي تتصرف كقنوات يتم عبرها انتقال الأيونات المختلفة.

معظم القنوات البروتينية تكون متخصصة جدا لواحد أو لعدد محدد من الأيونات وبالتالي فإن عملية الامتصاص تكون غالبا محددة جدا وهذا مايفسر عدم امتصاص النبات لكلوريد الصوديوم رغم تواجده الكثيف في التربة بل ان النبات يطرد هذة اليونات للخارج.

القنوات البروتينية تفتح وتغلق حسب الاحتياج الخلوي لذلك، وهناك العديد من العوامل التي تؤثر سلبيا او ايجابيا على عملية الفتح والغلق ومن هذة العوامل الضوء والشحنات الكهربائية التي تحملها الأيونات وكذلك بعض الهرمونات.

بما ان الأيونات هي عناصر متحركة وتحمل شحنة فإن حركتهم عبر الغشاء تسبب تيار كهربائي عبر الغشاء وقد تصل هذة التغيرات إلى مايقرب من 10^{12} ampere

عملية انتقال المحاليل الغير مشحونة كالسكر مثلا هي عملية واضحة حيث تعتمد كما ذكرنا سابقا على عمليات فرق الجهد على جانبي الغشاء البلازمي.

بالنسبة للمحاليل المشحونة كمعظم الأملاح المعدنية والمركبات المختلفة فإن عملية إمتصاصها لاتعتمد على الاختلافات التركيزية فقط وذلك لانها تحمل شحنة كهربائية وعلى هذا فانها ستنتشر بناء على



الاختلافات في الشحنة بالإضافة إلى الاختلافات التركيزية او اختلافات الجهد، ومثال على ذلك فإن أيون البوتاسيوم الموجب الشحنة سينجذب إلى منطقة تحمل شحنة سالبة والنتيجة هي ان حركة الأيون المشحون تُحدد بواسطة تدرج ذو شقين، الاول تركيزي والثاني كهربائي وبمعنى إصطلاحي فإنها تتحرك بتدرج كهروكيميائي Electrochemical gradient ويمكن الإضافة إلى ذلك خواص كل خلية الشحني او الشحنات التي يحملها السيتوبلازم او التي تحملها اغشية الخلية نفسها والتي يجب ان تؤخذ في الحسبان. فمثلا السيتوسول Cytosol يحتوي على كمية كبيرة من الأيونات المثبتة الغير قابلة للانتشار مثل الكاربوكسيل -R-COO والامين $R-NH^{4+}$ اللذات يدخلان في تركيب معظم البروتينات الغشائية المختلفة.

لكي تمتص الخلية مثل هذة الأيونات المشحونة يجب ان تولد تدرجا في الشحنات والتركيز بين طرفي الغشاء البلازمي ولذلك تستخدم الطاقة لتنشط مايسمى بمضخة الأيونات او مضخة الكاثيونات Pump Cations وخصوصا كاثيون الهيدروجين H^+ والكالسيوم Ca^{++} والصوديوم Na^+.

إذا لكي تتم عملية الامتصاص الملحي عكس منحنى التدرج الكيميائي يجب وجود طاقة، تأتي هذه الطاقة عن طريق عملية هدرجة الـ ATP بواسطة أنزيم ATP ase، وهذا مايفسر الارتباط الشديد بين عملية التنفس والامتصاص الملحي حيث ان عمليه التنفس الهدمية تطلق طاقة لاعادة تكوين ال ATP المزود الاساسي للطاقة في عملية الامتصاص. وبالتالي فإن نتيجة تولد هذه الطاقة مايلي:

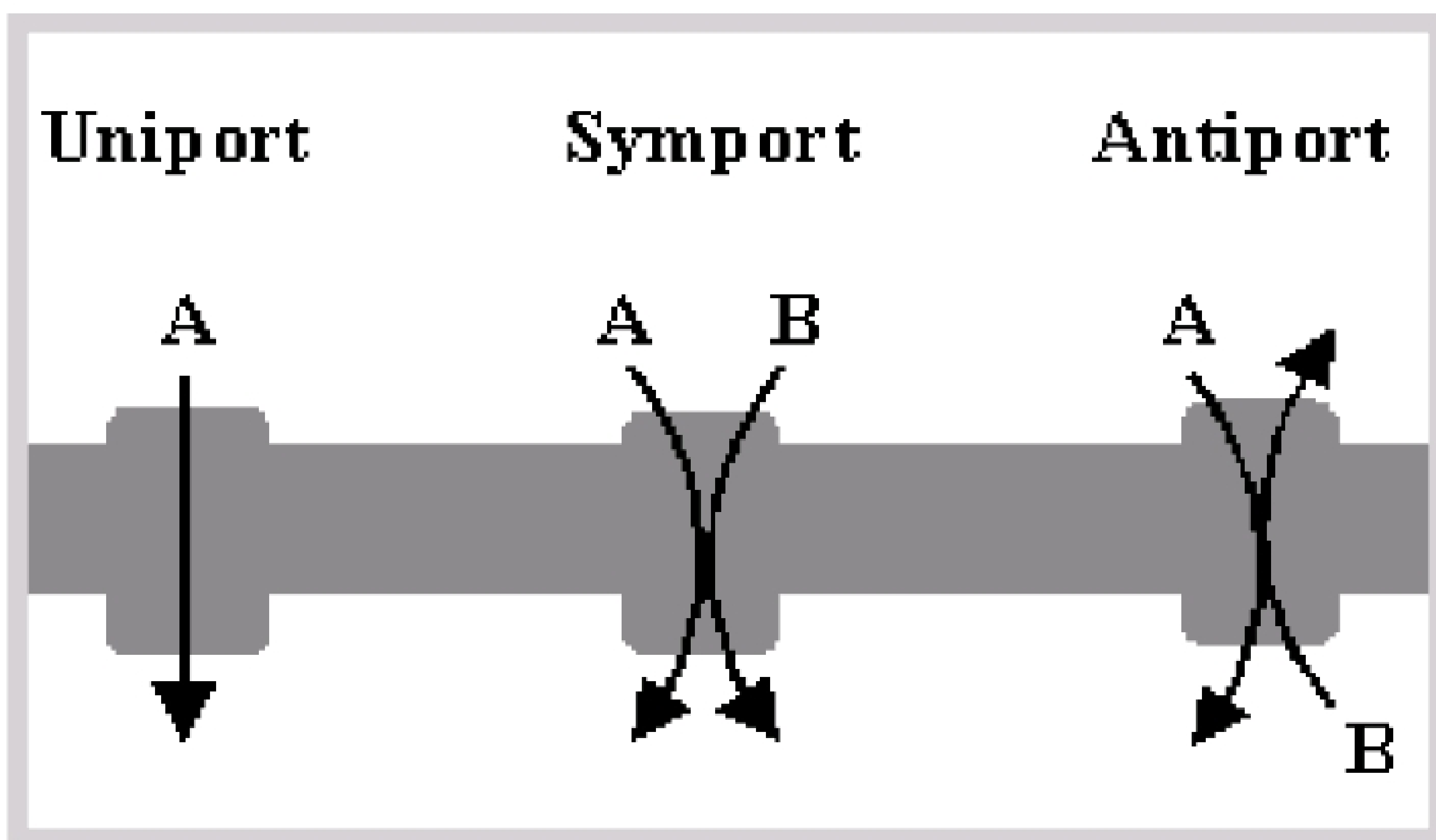
تقوم الخلية وباستخدام الطاقة الاتية من هدرجة الـ ATP بعملية ضخ أيونات الهيدروجين (البروتونات) خارج الخلية مما يولد أيضا تدرجاً في الشحنة والـ pH خلال الغشاء حيث تصبح داخل الخلية الشحنة السالبية أكبر و القاعدية أعلى، بالإضافة لذلك فإن خروج البروتونات اي أيونات الهيدروجين الموجبة الشحنة خارج الخلية سيولد تدرجاً في تركيزها الكيميائي هذا التدرج هو ما نسميه بالتدرج الكهروكيميائي Electrochemical gradient (كهرو = شحنة و كيميائي = تركيز).

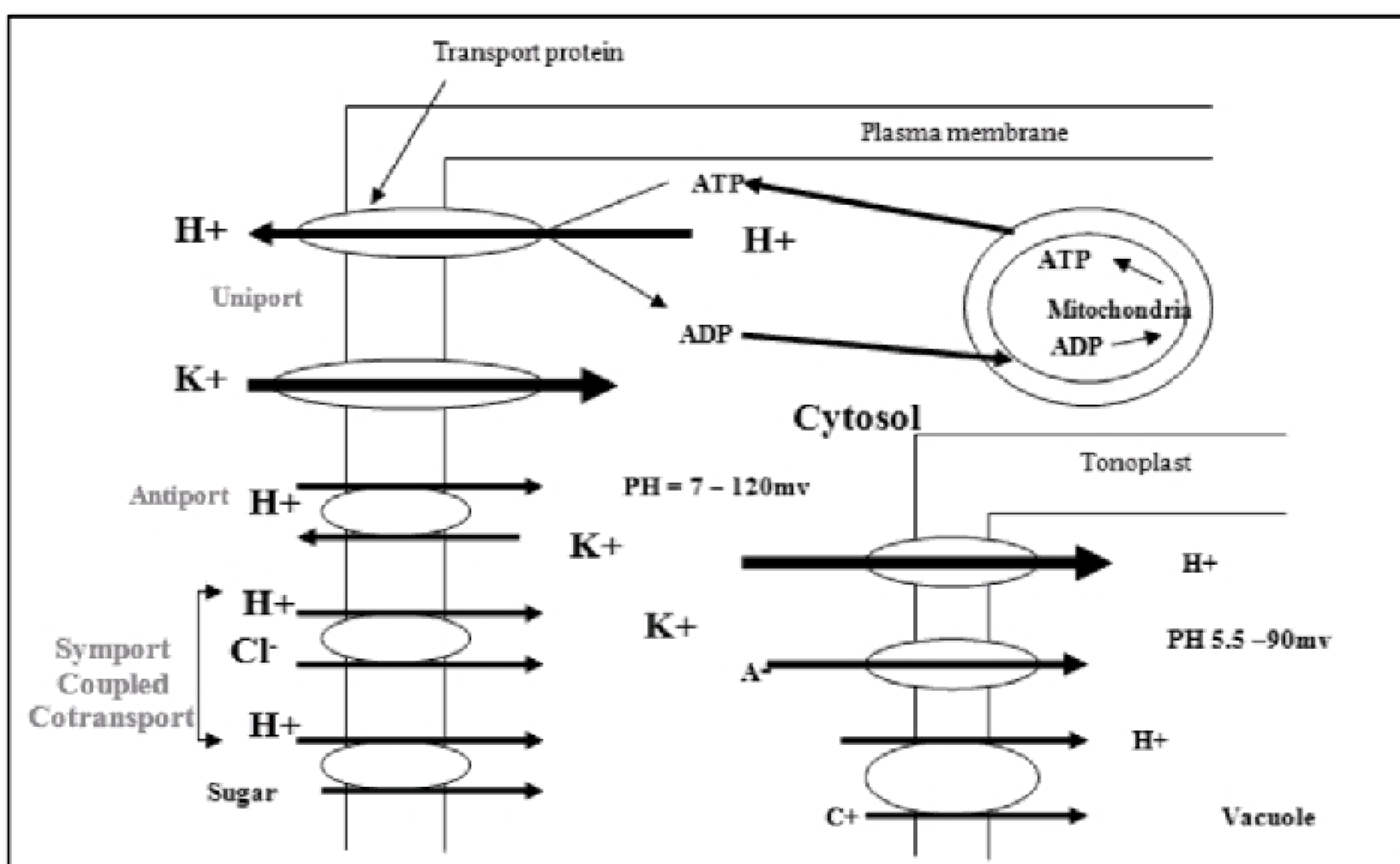
إذا الجهد المتولد من هذا التدرج الكهروكيميائي هو ما نسميه بقوة حركة البروتون (PMF) Proton Motive Force الطاقة المتولدة من هدرجة الـ ATP بواسطة ATP ase تقوم بعملية ضخ للبروتونات H^+ عبر الغشاء لخارج الخلية، هذا الضخ سيولد تدرجا في الـ pH وكذلك تدرجا في الشحنات الكهربائية حيث تزداد الشحنة السالبة داخل الخلية مقارنة مع الخارج وذلك نتيجة كون البروتونات تحمل شحنة موجبة، هذا الخلل الذي تولد في الشحنات والتركيز يستلزم حدوث توازن كهربائي



تركيزي وذلك بإدخال أيونات البوتاسيوم الموجبة K^+ داخل الخلية لتعادل الشحنات السالبة المتزايدة بسبب خروج البروتونات.

بروتون (H) واحد منقول من الداخل للخارج يولد اختلاف في الـ pH يعادل 1.5 إلى 2 وحدة pH ومن المعروف أن كل وحدة pH تعادل 60 MV في درجة حرارة 25، وبالتالي فإن التغير يساوي 1.5 وحدة pH سيولد شحنة تساوي 1.5 × 60 = 90 MV و 2 وحدة pH ستولد شحنة تعادل 120 MV.







إن هذه العملية هي عملية قابلة للانعكاس (Reversible) أي ان الطاقة ممكن ان تستخدم في اعادة التوازن بين طرفي الغشاء أي اعادة ال H^+ إلى الداخل.

باختصار هناك أربع طرق مختلفة لامتصاص أو لإدخال الأملاح يمكن أن ترافق حدوث تدرج كهروكيميائي عبر الغشاء: (لاحظ المخطط السابق)

١-أن عملية الضخ كهربائية أو تولد كهرباء (Electrogenic) فهي ستسبب انتقال سلبي للكاتيونات مثل البوتاسيوم خلال قنوات خاصة وذلك لتوازن الشحنات ويتم انتقال أيون واحد عن طريق بروتينات الـ Uniport (ما ذكر سابقاً).

٢-عودة البروتونات إلى الخلية وتوليد تدرج الكتروكهربائي سيصاحبه خروج لجزئ آخر من نفس الشحنة يمكن ان يكون بعض البوتاسيوم او أي جزيء آخر وهو ما نسميه بروتينات أو طريقة الـ Antiport

٣-من الممكن أيضا أن يتم النقل عن طريق بروتينات الـ Symport حيث يصاحب (Coupled) عودة البروتون للداخل إما:

- جزئ غير مشحون مثلاً سكر.
- أيون ذو شحنة مختلفة (سالبة) مثلاً (Co_3^-) أو Cl^-

وفي الحالات الثلاث السابقة لانتقال الأيونات، البروتون الداخل مصاحباً بخروج كاتيون آخر سيكون الدخول والخروج عن طريق نفس الحامل البروتيني، وأيضا البروتون الداخل مصاحباً بدخول جزئ غير مشحون أو أنيون سيكون الدخول عن طريق نفس الحامل البروتيني.

إذاً لابد من توفير الطاقة كي تقوم الخلية بتجميع الأملاح ويسمى هذا النوع من النقل بالنقل النشط Active transport

الانتقال السلبي للأملاح والأيونات Passive Transport

يحدث الامتصاص الحر اثناء تلامس الجذور مع محلول التربة وتتميز هذه العملية بانها لاتحتاج إلى طاقة وان الأيونات تصل في النهاية إلى حالة توازن ديناميكي بين داخل وخارج الخلية، كما ان الامتصاص غير متخصص جدا بالنسبة للأيونات، وان تبادل الأيونات يحدث فيما يسمى بالفراغ الحر أو الخارجي (Free Space or Outer Space) أي في جدران الخلايا والمسافات البينية بين الخلايا.

يعتمد الامتصاص السلبي للأملاح على التدرج في الجهد الكيميائي وعكسه عكس الامتصاص النشط فهو لا يحتاج إلى طاقة وغالبا ماتكون الأيونات او المواد في خارج الخلية ذات تركيز مرتفع مما يسهل



حركتها إلى الداخل وفي حال كون هذة الجزيئات ذات احجام واوزان جزيئية صغيرة وغير مشحونة فهي تمر عبر الغشاء بسهولة وهذا ما يطلق علية اسم الانتشار البسيط Simple Diffusion.

الانتشار البسيط Simple Diffusion

وهو ابسط طرق الامتصاص، وينشا طالما كان هناك اختلاف في تركيز مادة، أو أيون، أو جزئ، بين نقطتين في محلول واحد. وفيه ينتقل الأيون أو الجزىء من محلول التربة ذو التركيز المرتفع منها إلى الجدار الخلوى حيث تركيزها المنخفض نسبياً بدون أي عائق وبطريقة عكسية حتى يصل إلى حالة الاتزان، أي عن طريق الانتشار أو والتدفق الكتلى. وقد أطلق العلماء على الجزء من الخلية (أو النسيج النباتى) والتي تتحرك فيه الأيونات بواسطة الانتشار اسم الفراغ الحر Free Space والذى يشغل مساحة محسوسة من نسج الجذر حوالي ١٠% من حجم الجذور الحديثة، ويشمل الجدر الخلوية لخلايا طبقة البشرة، وطبقة القشرة، كذلك المسافات البينية بين خلايا القشرة. ويعتبر الانتشار البسيط عمليه بطيئة جدا، لا تفسر كيفية امتصاص النبات للأيونات والعناصر الغذائية ضد تدرج التركيز كما أنها لا تتسم بالسرعة اللازمة للحياة. ويتم انتقال الأيونات من المحلول الأرضى إلى الفراغ الحر في الخلية.

يحدث الامتصاص بعدة وسائل منها:

الانتشار: Diffusion

فمثلاً عند وضع الخلية أو نسيج نباتي في محلول ملحى، فنجد أن الأيونات تنتقل من المحلول حيث التركيز المرتفع إلى الفراغ الحر حيث التركيز المنخفض وذلك عن طريق الانتشار وتستمر هذه العملية حتى يتساوى التركيز داخل وخارج الفراغ الحر فيتوقف الانتشار

اتزان دونان Donnan Equilibirium

وفيه يحدث حالة من الاتزان على جانبي غشاء ما بدون تساوى تركيز الأيون الواحد، ويحدث ذلك عندما يسمح غشاء يفصل بين محلولين لأيون واحد من زوج من الأيونات بالمرور خلاله ولا يسمح بمرور الأيون الآخر، وهنا يتم الاتزان بفرض أن الأيونات الداخلة في النظام أحادية التكافؤ إذا كان حاصل ضرب التركيز الجزيئي Molar Concentration للكاتيونات والأنيونات على جانب من الغشاء يتساوى مع حاصل ضرب تلك الأيونات على الجانب الآخر من الغشاء. وقد وجد أن هذا الاتزان لا يحدث غالباً كما شرحه Donnan في خلايا النباتات الحية. حيث وجد بعد ذلك أن جذور النباتات الراقية لها



القدرة على أن تمتص الأيونات ضد تدرج التركيز بالرغم من أن اتزان دونان لا يحدث في كثير منها، مما يدل على أن البروتوبلازم له قدرة اختيارية على امتصاص العناصر.

الانتقال Translocation

انتقال العناصر الغذائية من محلول التربة إلى منطقة امتصاص الجذور، أهمية انتقال العناصر المغذية في التربة لجعلها في صورة صالحة للنبات. الفكرة تتركز في ثلاث طرق أساسية: الاعتراض الجذري، التدفق الكتلي والانتشار: تتحرك العناصر من الصورة الأيونية إلى المنطقة التي يسمح بامتصاصها على الجذر بواسطة الطرق التالية:

أ- التبادل بالتلامس

يتم انتقال الأيون من حبيبة الطين إلى الجذر بدون تدخل الكتروليتات حرة أي أن الأيون قد يدمص على جذور النبات بدون أن يحتاج للذوبان أولاً في محلول التربة فالأيون إلكتروستاتيكياً على الجزيء الصلب مثل حبيبة التربة أو جذر النبات لا يكون ممسوكاً بقوة شديدة بل يكون مفصولاً عنه بفراغ معين ولو صفر. فلو أن جزيئيان مدمصان (الجذور و حبيبة التربة) كانا بالقرب الكافي فأن الفراغ الفاصل بين الأيون الممتص على أحد الجزئيات قد يتدخل مع الفراغ الفاصل لأيون ممتص على حبيبة أخرى وبالتالي قد يحدث تبادل للأيونات على الحبيبات. يمتص النبات الأيونات بواسطة مجموع النبات الجذري بواسطة عدة آليات للامتصاص

ب- نظرية حامض الكربونيك

يقوم محلول التربة بدور هام حيث يكون هو وسط التبادل الأيوني بين الجذر وحبيبة التربة وحسب هذه النظرية فإن CO_2 الناتج من تنفس الجذور يتحول في التربة إلى حامض كربونيك بعد اتصاله بمحلول التربة وهنا يتحلل إلى كاتيون H^+ وأنيون HCO^-_3 وبينما ينتقل أيون الأيدروجين إلى حبيبة التربة يتحرر أحد الكاتيونات المدمصة عليها ويدخل إلى الجذر كاتيونات في محلول التربة أو محمولاً في صورة بيكربونات.

تدخل الأيونات إلى خلايا البشرة عن طريق الامتصاص السلبي والانتقال النشيط معاً. حيث يدخل إلى الحيز الظاهري الحر بالامتصاص السلبي ثم ينتقل بالانتقال النشيط إلى الحيز الداخلي Inner Space من خلال



١ - الاعتراض الجذري: Root interception حيث تنمو الجذور وتمتد حتى مواقع وجود العناصر الغذائية.

٢ - التبادل بالتلامس: وتفترض هذه النظرية انتقال العناصر الغذائية من على أسطح التبادل (غرويات التربة) إلى سطح جذر النبات مباشرةً بدون المرور بمحلول التربة حيث يفترض أن لكل أيون مجال نشاط معين على سطح الجذر والحبيبات الغروية فإذا ما تداخل المجالان أمكن تبادل الأيونات بين الأسطح المختلفة ليحل كل منها محل الأخر وفي الغالب يكون التبادل بين أيونات الهيدروجين (H^+) الذي تفرزه الجذور والأيونات المتبادلة على أسطح غرويات التربة.

وهناك بعض الاعتراضات على هذه النظرية حيث إن حجم القمة النامية في الجذر والمسئولة عن هذه العملية صغيرة جداً. وعموماً تكون كمية العناصر المغذية التي يحصل عليها النبات بهذه الطريقة تكون صغيرة بالنسبة للكمية الكلية التي يحتاجها النبات، وذلك لأن كمية المغذيات التي يمكن أن تتلامس مباشرة مع الجذر هي الكمية الموجودة في حجم من التربة مساو لحجم الجذر.

٣- التدفق الكتلي وفيه تنتقل الأيونات في اتجاه الجذور ذائبة في الماء وترتبط باتجاه حركة تيار الماء ويعتبر تيار النتح هو القوة الدافعة لحركة الماء.

٤-الانتشار تنتقل الأيونات باتجاه الجذر تبعا لتدرج التركيز فتنتقل من التركيز العالي إلى مناطق التركيز الواطئ. وهناك عدة عوامل تؤثر على معدل الانتشار في التربة منها:

١- محتوى التربة من الرطوبة: وهنا العلاقة طردية حيث يزداد معدل الانتشار في نفس التربة مع زيادة محتواها من الرطوبة.

٢- نسجة التربة: عند نفس الجهد من الماء في التربة يزداد معدل الانتشار في التربة الطينية عنه في التربة الرملية وذلك لاحتواء التربة الطينية على مستوى أعلى من الرطوبة عند نفس جهد الماء وأيضا لوجود غشاء متصل للماء حول حبيبات التربة.

٣- المسامية: يزداد الانتشار بزيادة نسبة المسام حيث إن الانتشار يتم خلال المسام المملوءة بالماء.

٤- مستوى العناصر في التربة: يزداد معدل الانتشار كلما ارتفع محتوى التربة من العناصر، حيث إن المستوى المرتفع من العناصر في محلول ا التربة يسمح بتدرج أكبر في التركيز، في هذه التربة، يساهم التدفق الكتلي بالجزء الأساسي من كمية الكالسيوم والمغنيسيوم الممتصة، في حين تتوقف الكمية الممتصة من البوتاسيوم والفسفور على الانتشار، بالإضافة إلى ذلك يلاحظ أن كمية الكالسيوم والمغنيسيوم التي تصل



إلى جذر النبات عن طريق التدفق الكتلي تفوق الكمية الممتصة، وهذا يعنى أنه قد يحدث تراكم لهذه الأيونات على السطح الخارجي للجذر.

امتصاص الأيونات بواسطة جذور النبات Ions Uptake by plant Roots

من المعروف بأن معظم الماء والعناصر المغذية المعدنية والتي يحصل عليها النبات من التربة تمتص بواسطة الشعيرات الجذرية والتي تكون مناطق الامتصاص الكبرى في النباتات. والأسباب التي يرجع إليها تميز منطقة الشعيرات الجذرية بأنها أسرع امتصاص للماء

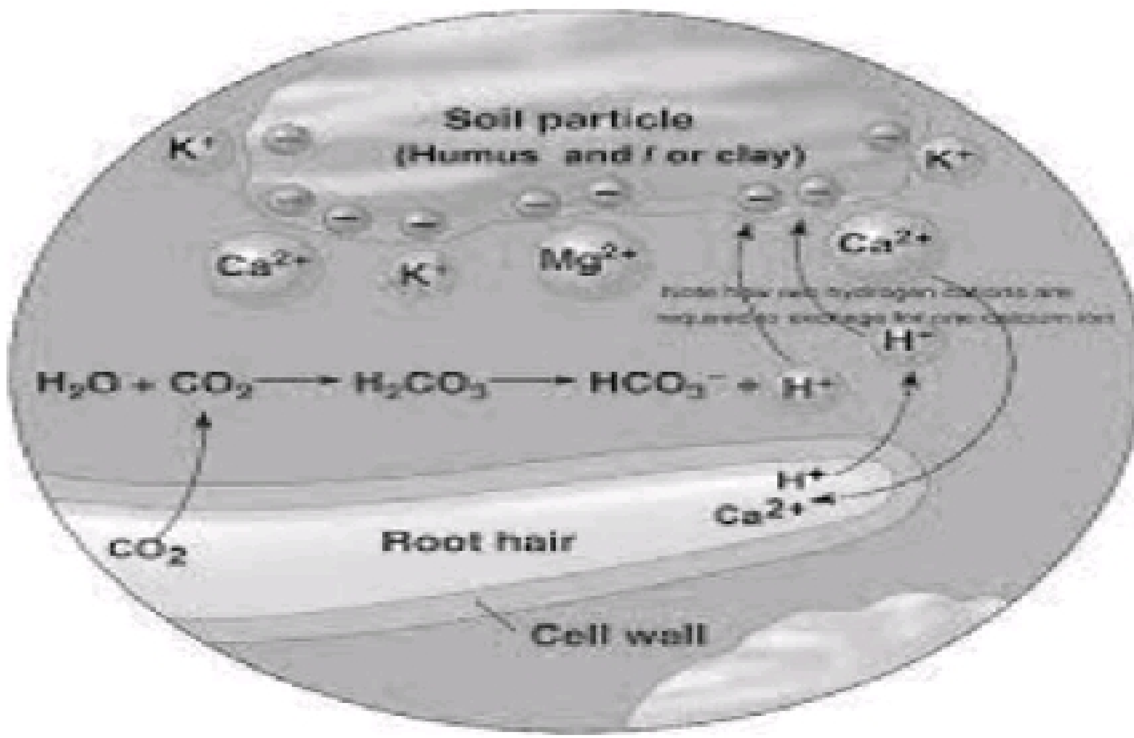
١– جدر خلايا الشعيرات الجذرية والبشرة في هذه المنطقة ذات جدر رقيقة خالية من المواد الشمعية والكيتينية والتي تعوق عملية الامتصاص.

٢– تكون ذات فجوة عصارية كبيرة في الحجم وجهدها الأسموزي أكثر سالبيه

٣– تغطي أسطحها بمادة هلامية لزجة للالتصاق بحبيبات التربة.

٤– قليلة المقاومة لنفاذية الماء من خلاياها لعدم وجود مواد عائقة لنفاذ الماء مثل السوبرين والكيوتين.

٥– لها مسطح كبير يزيد من سطح منطقة الامتصاص وهي ذات كفاءة عالية في امتصاص الماء والأملاح من التربة، حيث أنها تزيد مساحة سطح الجذور بمقدار ٦٧% وتزيد من تلامس الجذور لحبيبات التربة بمقدار ٢٠ مرة على الأقل وتسمح باختراق الجذور لحجم كبير من التربة. وعلى الرغم من صغر المساحة التي تشغلها منطقة الامتصاص في الجذر إلا أن وجود الشعيرات الجذرية بهذه المنطقة يضاعف إلى حد كبير سطح الامتصاص، أيضا نتيجة تغلل الشعيرات الجذرية بين حبيبات التربة تعرض سطح الامتصاص لأكبر حجم ممكن من الوسط الخارجي. ويوضح الشكل التالي كيفية وصول الأيونات من التربة سواء الذائبة في المحلول التربة أو المتبادلة على أسطح غرويات التربة المعدنية منها أو العضوية إلى سطح الشعيرات الجذرية وانتقالها داخل الشعيرة في اتجاه خلايا الجذر.



ونظراً لأهمية الجذر في عملية الامتصاص فيكون من الضروري الإشارة إلى تركيب جذر النبات والخلية النباتية كي يتسنى لنا تفهم النظريات التي تحاول تفسير عمليات الامتصاص.



00:06:04

نظريات الامتصاص Absorption Theories

نبدأ بإلقاء الضوء على كيفية امتصاص العنصر الغذائي والذى يعبر عنه بعدة مصطلحات مثل Absorption أو Intake أو Uptake وهى لا تعني إلى طريقة أو ميكانيكية محددة لامتصاص الأيونات، وإنما تشير كلها إلى معنى واحد وهو دخول الأيونات إلى داخل جذر النبات. كذلك يوجد اصطلاح تراكم Accumulation والتي تشير إلى تحرك الأيونات ضد تدرج التركيز وهي عمليه حيوية. وعندما يصل عنصر ما في صورته الأيونية إلى أسطح جذور النبات فإن هناك ثلاثة احتمالات يمكن أن تحدث له وهى:

١- إدمصاصه على أسطح خلايا الجذر نتيجة لتوفر الشحنة الكهربائية على هذه الأسطح

٢- اختراقه خلايا الجذر عن طريق الحركة الحرة Passive Movement، وذلك خلال الجزء من الخلية المسمى بالفراغ الحر Free Space

٣- تراكمه Accumulation داخل الخلايا عن طريق ما يسمى بالامتصاص النشط Active Uptake أو الامتصاص الحيوي Metabolic Uptake

أي أن عملية الامتصاص للعناصر الغذائية أما أن تكون خلال وسيلة انتقال حُر، أي لا تحتاج إلى طاقة أو ميكانيكية انتقال حيوي ولا يوجد تعارض شديد بين تركيز العناصر في محلول التربة من جهة، ومدى احتياجات النباتات لتلك العناصر.

علاوة على ذلك نجد أن تركيز بعض العناصر يتضاعف عدة مئات المرات في الأنسجة النباتية عنه في محلول التربة، وفي معظم الأحيان يكون التركيز داخل الأنسجة النباتية أكبر بكثير من احتياجات النباتات لهذه العناصر، وفي نفس الوقت نجد أن تركيز البعض الآخر من العناصر يكون أعلى في محلول التربة عنه في الأنسجة النباتية. وعلى ذلك يمكن القول بان عملية الامتصاص عملية اختيارية.

يمكن توصيف عملية امتصاص النباتات للأيونات بما يلى:

١. اختيارية Selectivity حيث يتضح بأن هناك أفضلية لبعض العناصر من حيث امتصاصها بواسطة نبات معين عن البعض الآخر.

٢. تجميع أو تراكم Accumulation أي يصبح تركيز العنصر داخل العصير الخلوي في النبات أعلى بكثير منه في محلول التربة.

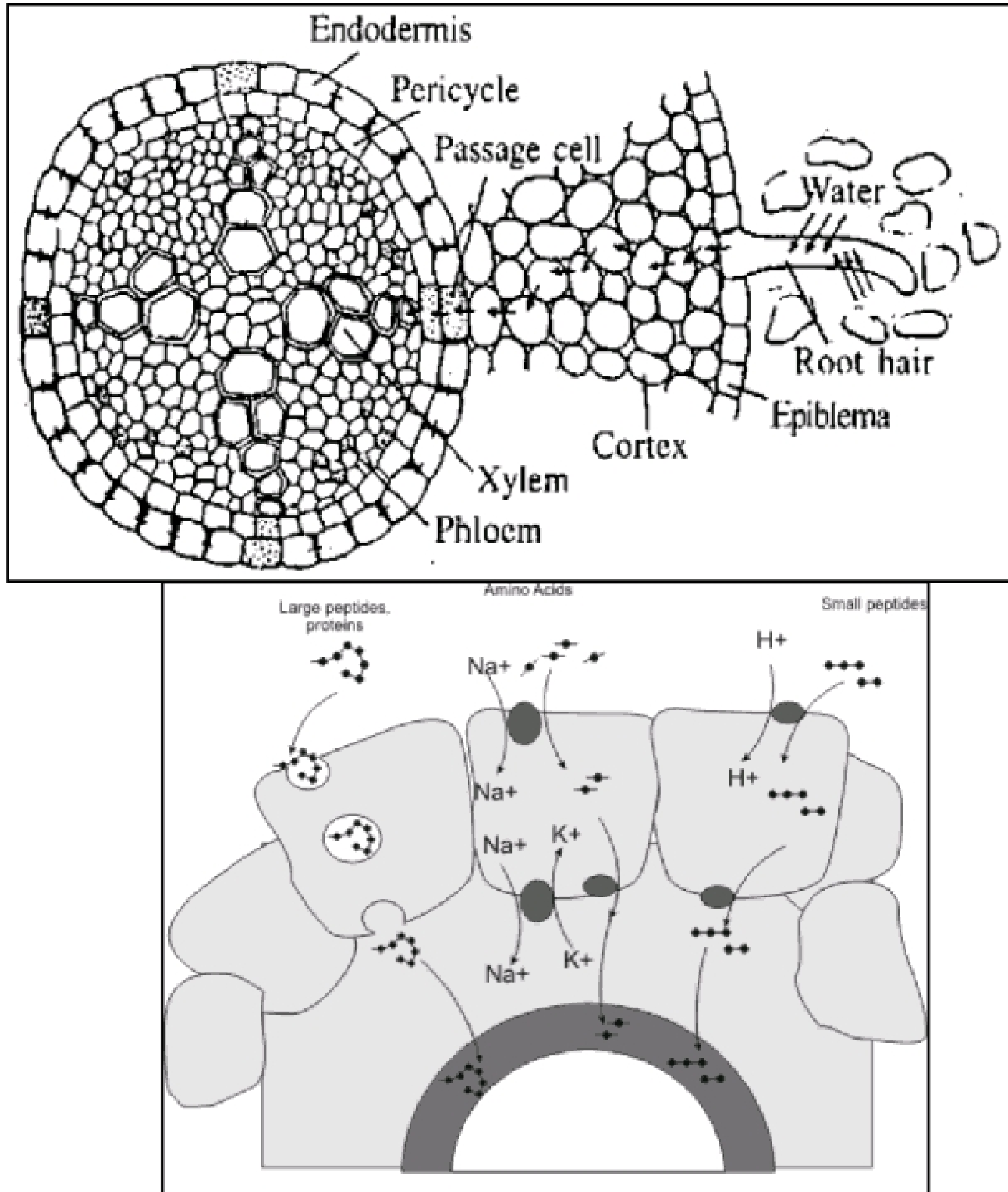
٣. وراثياً Genotype حيث تختلف النباتات فيما بينها في صفة امتصاصها للأيونات.



مما سبق نجد أن عملية انتقال الأيونات من محلول التربة إلى داخل الخلية النباتية عملية معقدة وهو ما أوجد العديد من النظريات التي تحاول تفسير هذه العملية الحيوية. ولقد اتضح من دراسة هذه النظريات أن ميكانيكية واحدة للامتصاص لا تكفي. من المتفق عليه الآن إنه لكى يدخل العنصر إلى داخل الخلية فلابد له أن يمر خلال غشاءين:

الغشاء الأول الجدار الخلوي وكما هو معروف يتركب من مواد سلولوزية بينها فجوات مملؤة بالماء والغازات، وهذا الغشاء مُنفذ تماما للماء والعناصر الذائبة.

الغشاء الثاني هو غشاء البلازما لما والذي يفصل بين الجدار الخلوي والسيتوبلازم وهو غشاء شبه مُنفذ للعناصر المختلفة.





الامتصاص السلبي Passive Absorption

يحدث الامتصاص عن طريق الاتصال المباشر بين حبيبات التربة أو محلولها والمجموع الجذري وكثيراً ما لوحظ أنه عن نقل أنسجة النبات من وسط يحتوي على تركيز منخفض من الأملاح إلى وسط يحتوي على تركيز ملحي مرتفع فإنه يحدث الامتصاص Uptake سريع للأيونات أي تنتقل الأيونات من الوسط الأكثر تركيزا إلى الوسط الأقل تركيزا داخل النبات حتى يحدث الاتزان عندما يتساوى نشاط الأيون في جميع أجزاء المحلول الداخل والخارج ويسمى ذلك بالانتشار البسيط Simple Diffusion ويعقب ذلك فترة من الامتصاص البطيء المستقر والذي يخضع لنشاط الأيض والامتصاص الأول السريع لا يتأثر بدرجة الحرارة ولا بمثبطات التمثيل الغذائي أي أن طاقة الأيض لا تتدخل في هذه الخطوة ولو أعيد النسيج بعد ذلك إلى وسط ذو تركيز منخفض من الأملاح فإن بعض الأيونات الممتصة سوف تخرج إلى الوسط الخارجي وبعبارة أخرى فإن جزء من الخلية أو النسيج المغمور في المحلول الملحي سوف يكون معرضاً لخروج الأيونات منه بطريقة حرة حتى يتم حدوث توازن بين الأيونات بصورة ما داخل وخارج الخلية أو النسيج والمحلول الخارجي وهذا الجزء من النسيج المسموح له بالخروج الحر للأيونات يرمز له باصطلاح الحيز الخارجي Outer Space وهو بصفة عامة يعتبر جدار الخلية وجزء من السيتوبلازم.

العوامل المؤثرة على الامتصاص السلبي:

١. التبادل الأيوني Adsorption Exchange
٢. توازن دونان Dannan Equilibrium
٣. الانسياب الكتلي Adsorption Exchange
٤. تبادل الأيونات بالتلامس The Contact Exchange

لو تغيرت الظروف البيئية فإن الامتصاص يتأثر، وأهم العوامل هي:

١. درجة الحرارة Temperature: ارتفاع الحرارة بصفة عامه يسرع الامتصاص السلبي بزيادة الطاقة الكامنة للجزئيات وفي الامتصاص النشيط يزيد النشاط إلى درجه مثلى ثم يتناقص مكافئ نشاطك حيوي آخر أي أن لها درجه صغرى ومثلى وعظمى.

٢. تركيز أيون الهيدروجين Hydrogen Ion Concentration زيادة أو نقص التركيز الهيدروجين لمحلول التربة عن المدى الفسيولوجي يمر بالنشاط الحيوي العام بما فيه الامتصاص. وفي داخل هذا المدى فإن ارتفاع أو انخفاض رقم pH لا يؤثر إلا في حالة نقص العناصر في التربة بينما يكون تأثيره قليل في



وجود وفره منها، وتحت هذه التحفظات فإن الظروف الحامضية تساعد على توفير الفوسفات الأحادي الصالح للامتصاص، كذلك بتحسن صلاحية البورون للامتصاص في الظروف الحامضية، بينما تكون زيادة القلوية مناسبة لامتصاص الكاتيونات.

٣. الضوء Light الضوء يساعد على فتح الثغور وعلى التمثيل الضوئي. فالثغور المفتوحة تزيد تدفق كتلة الماء في تيار النتح فتشجع الامتصاص. والطاقة المستمرة من التمثيل الضوئي تشجع الانتقال النشيط كما أن الأوكسجين الناتج يحسن الظروف المناسبة للامتصاص.

٤. التركيز الأوكسجيني Oxygen Tension الانتقال النشيط يثبط في كميات الأوكسجين كما أن الأوكسجين يساعد على امتصاص الفوسفات.

٥. الأثر المتبادل Interaction وجد أن امتصاص الشعير للبوتاسيوم يتأثر بوجود الكالسيوم أو المغنيسيوم كما لوحظ أن الكالسيوم يقلل امتصاص البوتاسيوم والبروتين إلى حد معين لو زاد الكالسيوم بمده يزيد الامتصاص مره أخرى، والمغنيسيوم يقل امتصاصه بوجود الكالسيوم، كما لوحظ أن البوتاسيوم والروبيديوم والسيزيوم تتنافس على شغل موضع التحام واحد، والباريوم والكالسيوم تتنافس على موضع واحد. وعموما ففي وجود مواضع التحام كافيه لا يظهر هذا التضاد، ولكن يظهر في وجود حوامل شديدة التخصص.

٦. النمو Growth عموماً فإن الأنسجة الحديثة أو المرستيمية يزيد فيها الامتصاص، ويتطور النسيج وتغليظه يقلل الامتصاص والمناطق المسورة على الجذور غير صالحة للامتصاص وزيادة النشاط الأيضية يزيد استهلاك العناصر وبالتالي الامتصاص كما أن النمو الخضري المتزايد يكون مصحوبا بزيادة تحركات الماء فيزيد الامتصاص.

انتقال العناصر الغذائية داخل النبات تدخل الأيونات إلى خلايا البشرة عن طريق الامتصاص السلبي والانتقال النشيط معاً، حيث يدخل إلى الحيز الظاهري الحر بالامتصاص السلبي ثم ينتقل بالانتقال النشيط إلى الحيز الداخلي Inner Space وتتحرك داخل خلايا البشرة بحرية حتى تصل إلى نسيج القشرة الداخلي Endodermis حيث تلاقي ما يعيق تقدمها وهو الأشرطة الكسبرية والتحرك خلال خلايا البشرة يكون عن طريق Plasmodia Estate أو الطرق البلازميدية بين خلايا البشرة. يوجد تدرج في تركيز الأوكسجين المتزايد و ثاني أوكسيد الكاربون المتناقص من القشرة إلى الحزمة الوعائية وبالتالي فإن نشاط الأيض وبالتالي الامتصاص النشيط يقل في المنطقة المحيطة بأوعية الخشب فتميل هذه المنطقة



إلى فقد الأملاح. ونظراً لأن الانتشار العكسي خلال الحزام الكسبري الغير منفذ يعتبر مستحيلاً فإن ذلك يعني أن هناك اتجاه واحد ووحيد للتخلص من هذه الأملاح وهو الاتجاه إلى داخل أوعية الخشب.

تتحرك الأملاح المتراكمة في أوعية الخشب من الجذر إلى الأفرع ومنها يعاد توزيعها إلى أنحاء النبات وعموماً فإن هذه التحركات تحدث في الأنسجة الوعائية وباستخدام العناصر المشعة أمكن تحديد طرق واتجاهات هذه العناصر وهي:

١. الانتقال لأعلى في أنسجة الخشب: ويتم بواسطة تيار النتح من أسفل الجذر إلى أعلى الساق، وقد لوحظت هذه الحركة باستخدام عناصر مشعة وتحليق اللحاء حيث لوحظ أن الانتقال لأعلى استمر رغم التحليق إلا أنه بدرجة أقل إلى حد ما مما يدل على أن هناك احتمال انتقال لأعلى داخل اللحاء أيضا.

٢. الانتقالات الفرعية للأملاح: يعتقد أن نسيج الكمبيوم الفاصل بين الخشب واللحاء يقوم بتنظيم كمية الأملاح المنقولة لأعلى مع تيار النتح ويساعد على ذلك ما يحدث من تراكم تنشيط للأملاح في أنسجة الكمبيوم، فلو أن عنصر ما كان موجوداً بتركيز عالي في اللحاء وحدث توازن بين اللحاء والكمبيوم فإن التدخل في مرور هذا العنصر مع تيار النتح يكون ضئيلاً، ومن ناحية أخرى لو أن هذا العنصر موجود بتركيز منخفض في اللحاء فإن انتقاله من الخشب إلى اللحاء خلال الكمبيوم يكون سريعاً.

٣. انتقال الأملاح في اللحاء: لوحظت في اللحاء حركة ذات اتجاهين: اتجاه لأعلى للأملاح المتساوية من الخشب عن طريق الكمبيوم. واتجاه لأسفل للأملاح الخارجة من الورقة التي تعاود الحركة لأعلى عن طريق اللحاء أو خلال الكمبيوم عن طريق الخشب. وهذه الحركة ذات الاتجاهين bi-directional للأملاح تكون مميزة لأنسجة اللحاء

٤. انتقال الأملاح إلى خارج الورقة: لوحظ أن أوراق النبات المتساقطة تحدث حركة للأملاح قبيل التساقط إلى خارج الورقة حيث تخرج بعض العناصر مثل النيتروجين والبوتاسيوم والفوسفات والكبريت. وتحت ظروف خاصة قد تخرج الحديد والمغنيسيوم بينما لا تخرج عناصر أخرى مثل الكالسيوم البورون والمنغنيز والسليكون. والمواد الخارجة من الورقة تظهر أولاً في اللحاء حيث تتحرك لأسفل ثم تتحرك حركة فرعية خلال الكمبيوم إلى الخشب وهنا تتحرك لأعلى في الخشب ولأعلى وأسفل في اللحاء. وقد يتحرك الفوسفور من الأوراق السفلية لأسفل إلى الجذر بينما يتحرك الفوسفور من الأوراق العلوية لأعلى في الساق. وتستقبل الأوراق الصغيرة هذه العناصر وتلاحظ هذه الظاهرة مثلاً عند نقص النيتروجين



والفوسفور في التربة فإن الأعراض تظهر أولاً على الأوراق السفلى حيث تهاجر منها العناصر إلى الأوراق الأصغر التي يتأخر ظهور أعراض النقص عليها.

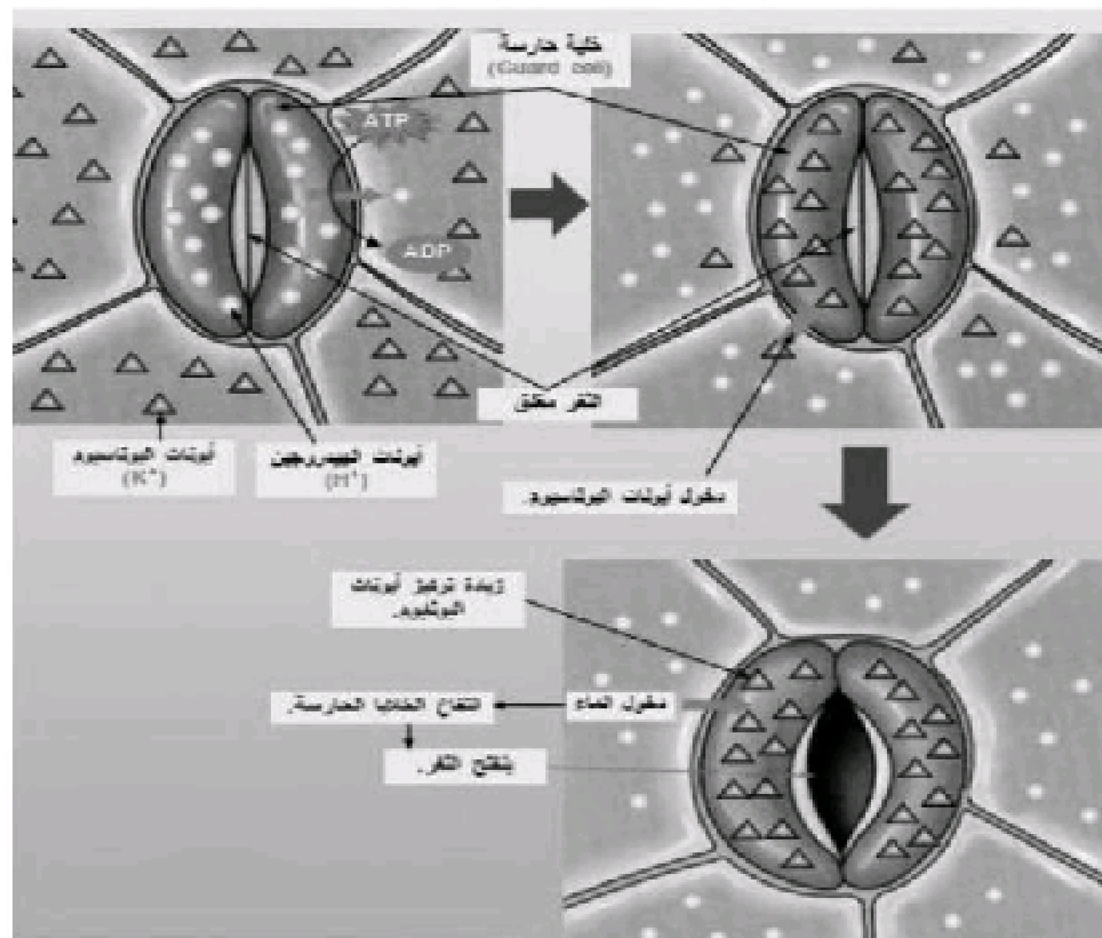
خطوات انتقال الماء بالنبات

من المعروف أن تبخر الماء إلى الهواء الخارجي يتم في وجود الطاقة الشمسية والتي تزيد من قابلية الهواء على حمل المزيد من جزيئات الماء ويحصل الهواء على جزيئات الماء من أي سطح رطب يكون فيه جهد الماء (طاقة الماء الحر) أعلى من الجهد المائي للهواء، والأوراق النباتية إحدى هذه السطوح الرطبة الغضة التي يمكن أن تمد الهواء بجزيئات الماء. ونتيجة لفقد الأوراق للماء لابد من وجود عملية إمداد للنبات بالماء من التربة لتعوض الفقد وهو ما يعرف بعملية الامتصاص

والامتصاص هي عملية دخول الماء للنبات مع ما يحتويه من أملاح وأيونات ذائبة من خلال الجذور وقد يتم امتصاص الماء عن طريق المجموع الخضري ولكن الكميات الممتصة من الماء عن طريقة الأوراق عادة ما تكون قليلة.

امتصاص الماء وعلاقته بالنتح

يفقد الماء من الأوراق خلال الثغور التي تفتح لتسمح بدخول ثاني أوكسيد الكاربون CO_2 وهو المادة الضرورية لعملية البناء الضوئي لذلك يمكن اعتبار النتح عملية ثانوية و ضريبة لابد أن يدفعها النبات لقاء تسهيلات المرور التي تعطيها الأوراق لمرور ثاني أكسيد الكربون CO_2 نتيجة الفقد المستمر للماء كان لابد للنبات تعويض هذه الكمية بالامتصاص و إلا هلكت الأوراق و هلك النبات



الشكل يبين ميكانيكية غلق وفتح الثغور



يفقد الماء من أعلى النبات فيزداد تركيز المواد في خلايا الأوراق فيقل الجهد المائي فيها مما يزيد من سحبها للماء من الخلايا المجاورة وينتقل هذا التأثير إلى خشب الأوراق ثم إلى خشب الساق والجذور ومن الجذر إلى جزيئات التربة المحيطة بها فيتحرك الماء من التربة إلى الأوراق كخيط قوى يتحرك حين يسحب أحد طرفيه. وعمليتي النتح والامتصاص متلازمتان على الدوام عندما يزيد النتح عن الامتصاص يقل محتوى خلايا النبات من الماء فيقل الضغط في داخلها فيذبل النبات ويحدث هذا عادة أثناء ساعات النهار التي ترتفع فيه درجات الحرارة و تقل الرطوبة النسبية فيكون النتح في أقصاه والجهد المائي للخلايا الورقية في أدنى مستواه. لذلك لابد من أخذ فكرة عن النتح و العوامل المؤثرة عليه هو فقد الماء على هيئة بخار ماء من أسطحه المعرضة للجو خاصة الأوراق عن طريق ثقوب ميكروسكوبية تسمى بالثغور Stomata ويعرف ذلك الماء المفقود بالنتح بالثغور. كما يفقد الماء على صورة بخار الماء من خلال العدسات Lenticeles الموجودة في الأنسجة الفلينية التي تغطي أسطح السيقان و الأفرع فيما يعرف بالنتح العديسي أما الفقد من أسطح الأوراق والسيقان العشبية خلال طبقة الأدم يسمي بالنتح الاديمي. لما كان النتح ضروريا للنبات وكان من الضروري أيضا أن يقي النبات نفسه من أخطار الذبول المترتب على شدة النتح تعين أن يوجد جهاز خاص على السطوح الورقية لتنظيم حركة فقد الماء من النبات بحيث لا يفقد النبات الماء إلا بالقدر المناسب و هذا الجهاز هو مجموعة الثغور المبعثرة على سطح الأوراق.

ميكانيكية عملية النتح

تحاط الثغور عادة بخليتين حارستين Guard Cells تتحكمان في فتح الثغور وغلقها وإن متوسط أبعاد الثغر الواحد يبلغ (٣ –١٢ مايكرون) عرضاً و (١٠ –٤٠ مايكرون) طولاً، كما يختلف عدد الثغور على سطح الورقة من نوع لآخر.

ويمكن تلخيص ميكانيكية عملية فتح وغلق الثغور على أنها عملية استجابة مباشرة لزيادة أو نقص الجهد الأسموزي للخلايا الحارسة والتغير في الجهود المائية الناتجة من التغيرات الأسموزي بسبب تحرك الماء من وإلى الخلايا الحارسة.

فعند تحرك الماء إلى الخلايا الحارسة فأن تلك الخلايا تنبسط (Expand) أي تصبح أكثر امتلاء، ولو تحرك الماء خارجها فإنها تصبح مرتخية (Flaccid) أي ينفتح الثغر في حالة الامتلاء ويغلق في حالة الارتخاء، وهكذا فعملية الامتلاء والتفريغ تعتمد على حدوث التبادل المائي بين الخلايا الحارسة وكل من خلايا النسيج المتوسط وخلايا بشرة الورقة المحيطة.



وجود وفره منها، وتحت هذه التحفظات فإن الظروف الحامضية تساعد على توفير الفوسفات الأحادي الصالح للامتصاص، كذلك بتحسن صلاحية البورون للامتصاص في الظروف الحامضية، بينما تكون زيادة القلوية مناسبة لامتصاص الكاتيونات.

٣. الضوء Light الضوء يساعد على فتح الثغور وعلى التمثيل الضوئي. فالثغور المفتوحة تزيد تدفق كتلة الماء في تيار النتح فتشجع الامتصاص. والطاقة المستمرة من التمثيل الضوئي تشجع الانتقال النشيط كما أن الأوكسجين الناتج يحسن الظروف المناسبة للامتصاص.

٤. التركيز الأوكسجيني Oxygen Tension الانتقال النشيط يثبط في كميات الأوكسجين كما أن الأوكسجين يساعد على امتصاص الفوسفات.

٥. الأثر المتبادل Interaction وجد أن امتصاص الشعير للبوتاسيوم يتأثر بوجود الكالسيوم أو المغنيسيوم كما لوحظ أن الكالسيوم يقلل امتصاص البوتاسيوم والبروتين إلى حد معين لو زاد الكالسيوم بمده يزيد الامتصاص مره أخرى، والمغنيسيوم يقل امتصاصه بوجود الكالسيوم، كما لوحظ أن البوتاسيوم والروبيديوم والسيزيوم تتنافس على شغل موضع التحام واحد، والباريوم والكالسيوم تتنافس على موضع واحد. وعموما ففي وجود مواضع التحام كافيه لا يظهر هذا التضاد، ولكن يظهر في وجود حوامل شديدة التخصص.

٦. النمو Growth عموماً فإن الأنسجة الحديثة أو المرستيمية يزيد فيها الامتصاص، ويتطور النسيج وتغليظه يقلل الامتصاص والمناطق المسورة على الجذور غير صالحة للامتصاص وزيادة النشاط الأيضية يزيد استهلاك العناصر وبالتالي الامتصاص كما أن النمو الخضري المتزايد يكون مصحوبا بزيادة تحركات الماء فيزيد الامتصاص.

انتقال العناصر الغذائية داخل النبات تدخل الأيونات إلى خلايا البشرة عن طريق الامتصاص السلبي والانتقال النشيط معاً، حيث يدخل إلى الحيز الظاهري الحر بالامتصاص السلبي ثم ينتقل بالانتقال النشيط إلى الحيز الداخلي Inner Space وتتحرك داخل خلايا البشرة بحرية حتى تصل إلى نسيج القشرة الداخلي Endodermis حيث تلاقي ما يعيق تقدمها وهو الأشرطة الكسبرية والتحرك خلال خلايا البشرة يكون عن طريق Plasmodia Estate أو الطرق البلازميدية بين خلايا البشرة. يوجد تدرج في تركيز الأوكسجين المتزايد و ثاني أوكسيد الكاربون المتناقص من القشرة إلى الحزمة الوعائية وبالتالي فإن نشاط الأيض وبالتالي الامتصاص النشيط يقل في المنطقة المحيطة بأوعية الخشب فتميل هذه المنطقة

إلى فقد الأملاح. ونظراً لأن الانتشار العكسي خلال الحزام الكسبري الغير منفذ يعتبر مستحيلاً فإن ذلك يعني أن هناك اتجاه واحد ووحيد للتخلص من هذه الأملاح وهو الاتجاه إلى داخل أوعية الخشب.

تتحرك الأملاح المتراكمة في أوعية الخشب من الجذر إلى الأفرع ومنها يعاد توزيعها إلى أنحاء النبات وعموماً فإن هذه التحركات تحدث في الأنسجة الوعائية وباستخدام العناصر المشعة أمكن تحديد طرق واتجاهات هذه العناصر وهي:

١. الانتقال لأعلى في أنسجة الخشب: ويتم بواسطة تيار النتح من أسفل الجذر إلى أعلى الساق، وقد لوحظت هذه الحركة باستخدام عناصر مشعة وتحليق اللحاء حيث لوحظ أن الانتقال لأعلى استمر رغم التحليق إلا أنه بدرجة أقل إلى حد ما مما يدل على أن هناك احتمال انتقال لأعلى داخل اللحاء أيضا.

٢. الانتقالات الفرعية للأملاح: يعتقد أن نسيج الكمبيوم الفاصل بين الخشب واللحاء يقوم بتنظيم كمية الأملاح المنقولة لأعلى مع تيار النتح ويساعد على ذلك ما يحدث من تراكم تنشيط للأملاح في أنسجة الكمبيوم، فلو أن عنصر ما كان موجوداً بتركيز عالي في اللحاء وحدث توازن بين اللحاء والكمبيوم فإن التدخل في مرور هذا العنصر مع تيار النتح يكون ضئيلاً، ومن ناحية أخرى لو أن هذا العنصر موجود بتركيز منخفض في اللحاء فإن انتقاله من الخشب إلى اللحاء خلال الكمبيوم يكون سريعاً.

٣. انتقال الأملاح في اللحاء: لوحظت في اللحاء حركة ذات اتجاهين: اتجاه لأعلى للأملاح المتساوية من الخشب عن طريق الكمبيوم. واتجاه لأسفل للأملاح الخارجة من الورقة التي تعاود الحركة لأعلى عن طريق اللحاء أو خلال الكمبيوم عن طريق الخشب. وهذه الحركة ذات الاتجاهين bi-directional للأملاح تكون مميزة لأنسجة اللحاء

٤. انتقال الأملاح إلى خارج الورقة: لوحظ أن أوراق النبات المتساقطة تحدث حركة للأملاح قبيل التساقط إلى خارج الورقة حيث تخرج بعض العناصر مثل النيتروجين والبوتاسيوم والفوسفات والكبريت. وتحت ظروف خاصة قد تخرج الحديد والمغنيسيوم بينما لا تخرج عناصر أخرى مثل الكالسيوم البورون والمنغنيز والسليكون. والمواد الخارجة من الورقة تظهر أولاً في اللحاء حيث تتحرك لأسفل ثم تتحرك حركة فرعية خلال الكمبيوم إلى الخشب وهنا تتحرك لأعلى في الخشب ولأعلى وأسفل في اللحاء. وقد يتحرك الفوسفور من الأوراق السفلية لأسفل إلى الجذر بينما يتحرك الفوسفور من الأوراق العلوية لأعلى في الساق. وتستقبل الأوراق الصغيرة هذه العناصر وتلاحظ هذه الظاهرة مثلاً عند نقص النيتروجين

والفوسفور في التربة فإن الأعراض تظهر أولاً على الأوراق السفلى حيث تهاجر منها العناصر إلى الأوراق الأصغر التي يتأخر ظهور أعراض النقص عليها.

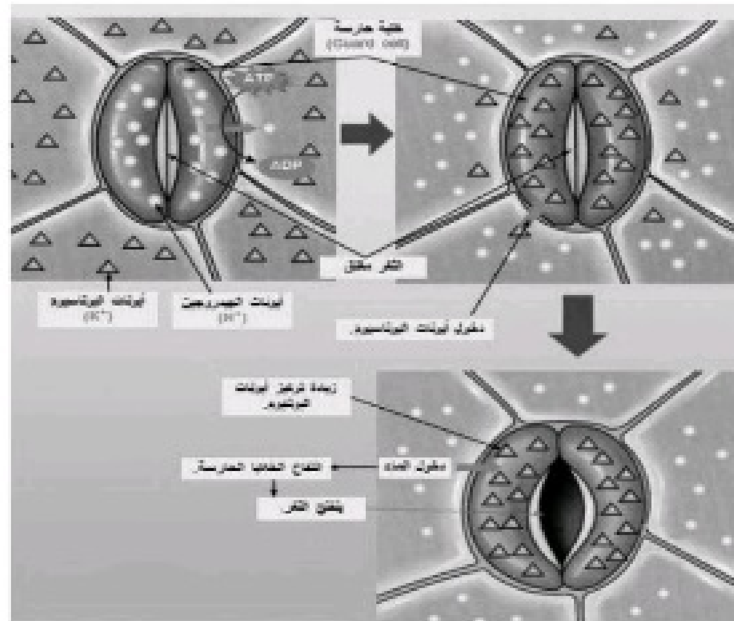
خطوات انتقال الماء بالنبات

من المعروف أن تبخر الماء إلى الهواء الخارجي يتم في وجود الطاقة الشمسية والتي تزيد من قابلية الهواء على حمل المزيد من جزيئات الماء ويحصل الهواء على جزيئات الماء من أي سطح رطب يكون فيه جهد الماء (طاقة الماء الحر) أعلى من الجهد المائي للهواء، والأوراق النباتية إحدى هذه السطوح الرطبة الغضة التي يمكن أن تمد الهواء بجزيئات الماء. ونتيجة لفقد الأوراق للماء لابد من وجود عملية إمداد للنبات بالماء من التربة لتعوض الفقد وهو ما يعرف بعملية الامتصاص

والامتصاص هي عملية دخول الماء للنبات مع ما يحتويه من أملاح وأيونات ذائبة من خلال الجذور وقد يتم امتصاص الماء عن طريق المجموع الخضري ولكن الكميات الممتصة من الماء عن طريقة الأوراق عادة ما تكون قليلة.

امتصاص الماء وعلاقته بالنتح

يفقد الماء من الأوراق خلال الثغور التي تفتح لتسمح بدخول ثاني أوكسيد الكاربون CO_2 وهو المادة الضرورية لعملية البناء الضوئي لذلك يمكن اعتبار النتح عملية ثانوية و ضريبة لابد أن يدفعها النبات لقاء تسهيلات المرور التي تعطيها الأوراق لمرور ثاني أكسيد الكربون CO_2 نتيجة الفقد المستمر للماء كان لابد للنبات تعويض هذه الكمية بالامتصاص و إلا هلكت الأوراق و هلك النبات



الشكل يبين ميكانيكية غلق وفتح الثغور

والفوسفور في التربة فإن الأعراض تظهر أولاً على الأوراق السفلى حيث تهاجر منها العناصر إلى الأوراق الأصغر التي يتأخر ظهور أعراض النقص عليها.

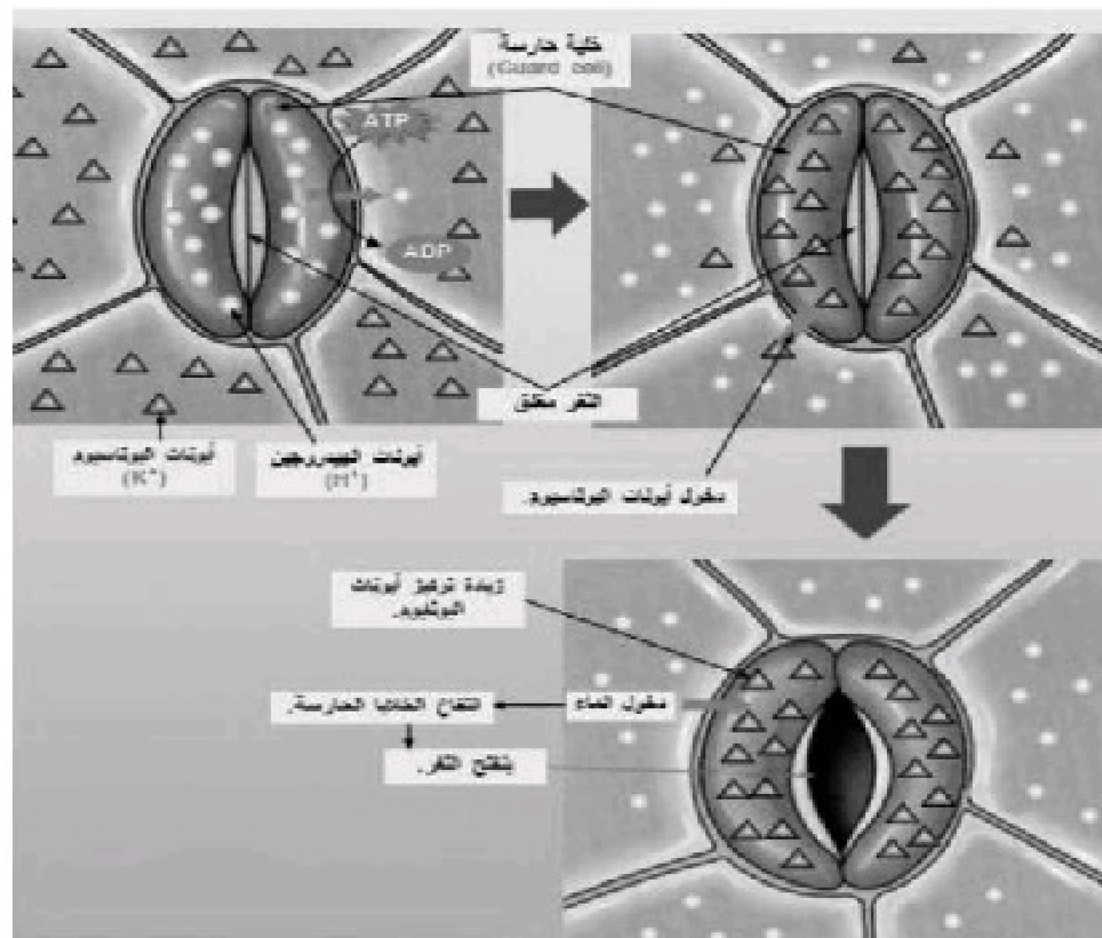
خطوات انتقال الماء بالنبات

من المعروف أن تبخر الماء إلى الهواء الخارجي يتم في وجود الطاقة الشمسية والتي تزيد من قابلية الهواء على حمل المزيد من جزيئات الماء ويحصل الهواء على جزيئات الماء من أي سطح رطب يكون فيه جهد الماء (طاقة الماء الحر) أعلى من الجهد المائي للهواء، والأوراق النباتية إحدى هذه السطوح الرطبة الغضة التي يمكن أن تمد الهواء بجزيئات الماء. ونتيجة لفقد الأوراق للماء لابد من وجود عملية إمداد للنبات بالماء من التربة لتعوض الفقد وهو ما يعرف بعملية الامتصاص

والامتصاص هي عملية دخول الماء للنبات مع ما يحتويه من أملاح وأيونات ذائبة من خلال الجذور وقد يتم امتصاص الماء عن طريق المجموع الخضري ولكن الكميات الممتصة من الماء عن طريقة الأوراق عادة ما تكون قليلة.

امتصاص الماء وعلاقته بالنتح

يفقد الماء من الأوراق خلال الثغور التي تفتح لتسمح بدخول ثاني أوكسيد الكاربون CO_2 وهو المادة الضرورية لعملية البناء الضوئي لذلك يمكن اعتبار النتح عملية ثانوية و ضريبة لابد أن يدفعها النبات لقاء تسهيلات المرور التي تعطيها الأوراق لمرور ثاني أكسيد الكربون CO_2 نتيجة الفقد المستمر للماء كان لابد للنبات تعويض هذه الكمية بالامتصاص و إلا هلكت الأوراق و هلك النبات



الشكل يبين ميكانيكية غلق وفتح الثغور

يفقد الماء من أعلى النبات فيزداد تركيز المواد في خلايا الأوراق فيقل الجهد المائي فيها مما يزيد من سحبها للماء من الخلايا المجاورة وينتقل هذا التأثير إلى خشب الأوراق ثم إلى خشب الساق والجذور ومن الجذر إلى جزيئات التربة المحيطة بها فيتحرك الماء من التربة إلى الأوراق كخيط قوى يتحرك حين يسحب أحد طرفيه. وعمليتي النتح والامتصاص متلازمتان على الدوام عندما يزيد النتح عن الامتصاص يقل محتوى خلايا النبات من الماء فيقل الضغط في داخلها فيذبل النبات ويحدث هذا عادة أثناء ساعات النهار التي ترتفع فيه درجات الحرارة و تقل الرطوبة النسبية فيكون النتح في أقصاه والجهد المائي للخلايا الورقية في أدنى مستواه. لذلك لابد من أخذ فكرة عن النتح و العوامل المؤثرة عليه هو فقد الماء على هيئة بخار ماء من أسطحه المعرضة للجو خاصة الأوراق عن طريق ثقوب ميكروسكوبية تسمى بالثغور Stomata ويعرف ذلك الماء المفقود بالنتح بالثغور. كما يفقد الماء على صورة بخار الماء من خلال العدسات Lenticeles الموجودة في الأنسجة الفلينية التي تغطي أسطح السيقان و الأفرع فيما يعرف بالنتح العديسي أما الفقد من أسطح الأوراق والسيقان العشبية خلال طبقة الأدم يسمي بالنتح الاديمي. لما كان النتح ضروريا للنبات وكان من الضروري أيضا أن يقي النبات نفسه من أخطار الذبول المترتب على شدة النتح تعين أن يوجد جهاز خاص على السطوح الورقية لتنظيم حركة فقد الماء من النبات بحيث لا يفقد النبات الماء إلا بالقدر المناسب و هذا الجهاز هو مجموعة الثغور المبعثرة على سطح الأوراق.

ميكانيكية عملية النتح

تحاط الثغور عادة بخليتين حارستين Guard Cells تتحكمان في فتح الثغور وغلقها وإن متوسط أبعاد الثغر الواحد يبلغ (٣ -١٢ مايكرون) عرضاً و (١٠ -٤٠ مايكرون) طولاً، كما يختلف عدد الثغور على سطح الورقة من نوع لآخر.

ويمكن تلخيص ميكانيكية عملية فتح وغلق الثغور على أنها عملية استجابة مباشرة لزيادة أو نقص الجهد الأسموزي للخلايا الحارسة والتغير في الجهود المائية الناتجة من التغيرات الأسموزي بسبب تحرك الماء من وإلى الخلايا الحارسة.

فعند تحرك الماء إلى الخلايا الحارسة فأن تلك الخلايا تنبسط (Expand) أي تصبح أكثر امتلاء، ولو تحرك الماء خارجها فإنها تصبح مرتخية (Flaccid) أي ينفتح الثغر في حالة الامتلاء ويغلق في حالة الارتخاء، وهكذا فعملية الامتلاء والتفريغ تعتمد على حدوث التبادل المائي بين الخلايا الحارسة وكل من خلايا النسيج المتوسط وخلايا بشرة الورقة المحيطة.

أما من الناحية التشريحية فالذي يميز الخلايا الحارسة من تركيب خاص يساعدها في ميكانيكية الفتح والغلق فالليفات السيليلوزية الدقيقة تترتب داخل جدار الخلية الحارسة بشكل شعاعي أي من قمة الثغر إلى الخارج، كما أن جدار الخلية الحارسة المجاورة للثغر يكون أسمك من الجزء المجاور لخلايا القشرة لذلك فالاختلاف في سمك الجدار هو الذي يعطي مرونة لحركة احد الجوانب للخلية الحارسة أكثر من الجوانب الأخرى مما يؤدي إلى فتح وغلق الثغور كما أن هناك خلايا أخرى تحيط بالخلايا الحارسة تسمى بالخلايا المساعدة Accessory Cells، وتحتوي الخلايا الحارسة أيضا على البلاستيدات الخضراء Chloroplasts للقيام بعملية البناء الضوئي. الشكل التالي



الشكل فيه تلخيص ميكانيكية غلق وفتح الثغور (الحركة بالثغور)

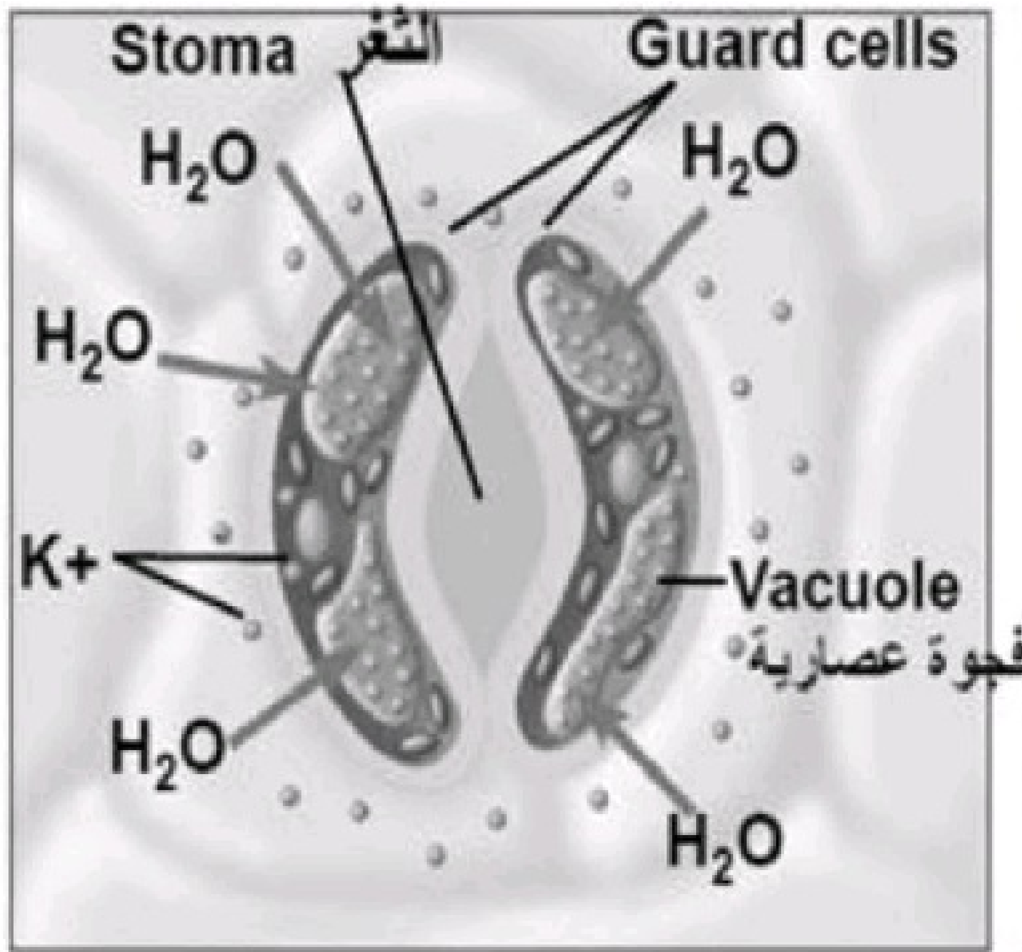


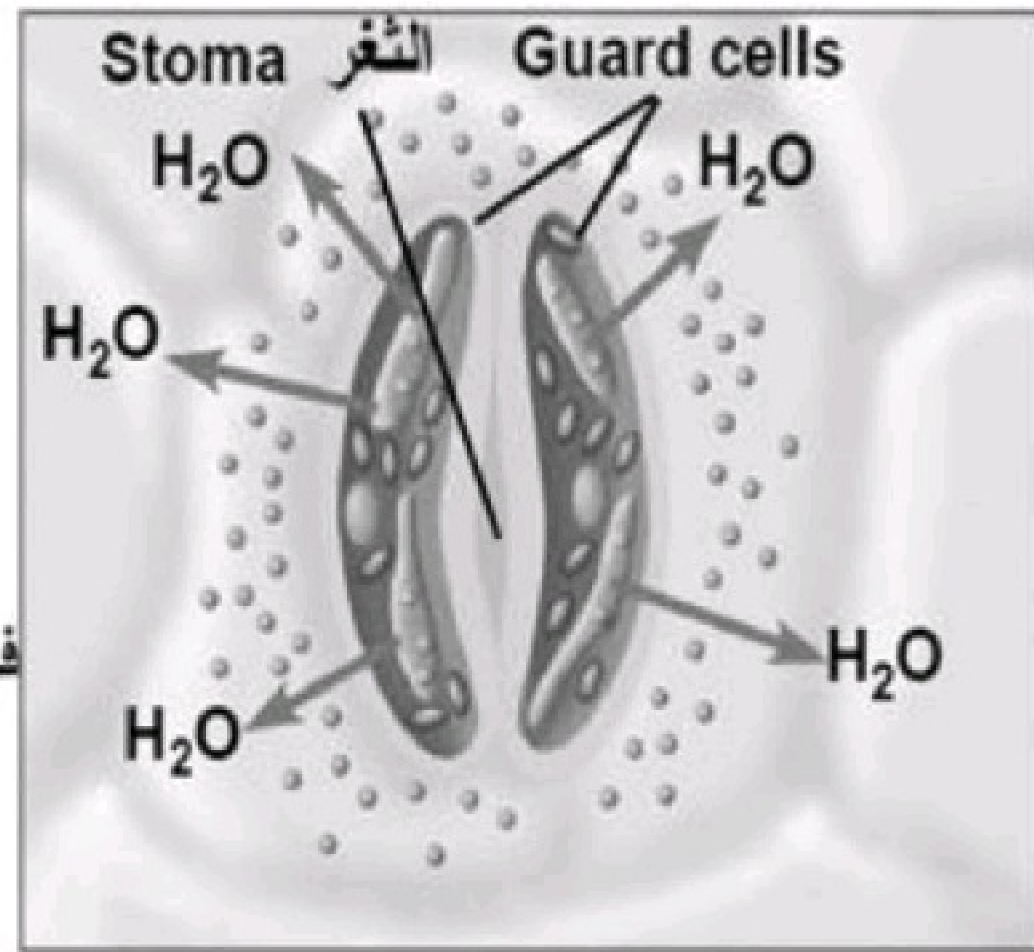
Stoma closing الثغر مغلق

Less K^+ inside guard cell	نقص البوتاسيوم داخل الخلية الحارسة
Night time	أثناء الليل
High CO_2	زيادة ثاني أكسيد الكربون
Natural Rhythms	إيقاعات طبيعية

Stoma opening الثغر مفتوح

lore K^+ inside guard cell	زيادة البوتاسيوم داخل الخلية الحارسة
)ay time	أثناء النهار
.ow CO_2	نقص ثاني أكسيد الكربون
latural Rhythms	إيقاعات طبيعية





How guard cells control stomata
كيف تتحكم الخلايا الحارسة فى الثغور

فوائد النتح

١. يقي النبات من الذبول عند ارتفاع درجة الحرارة لان تبخر الماء من أنسجة الورقة يقتضي استنفاذ مقدار من الحرارة تعرف بحرارة التبخير و التي تستمدها من الأوراق فتبرد.

٢. ينتج من النتح قوة سالبة هي العامل المهم في إمداد النبات بالماء

٣. يساهم النتح في زيادة معدل امتصاص النبات للذائبات من التربة.

العوامل المؤثرة على عملية النتح

العوامل النباتية

١- نسبة المجموع الجذري إلى المجموع الخضري: عندما يزداد المجموع الجذري عن المجموع الخضري للنبات ووجود الظروف الملاءمة للامتصاص والنتح تكون كمية الماء الممتص اكبر من كمية الماء المفقود بالنتح وبالتالي ينمو النبات والعكس عندما يقل المجموع الجذري عن المجموع الخضري يحدث ذبول للنباتات.

00:03:56

٢ – مساحة الورقة: زيادة مساحة الورقة يتبعها زيادة الماء المفقود وغالبا ما تنتج النباتات الصغيرة بمعدل اكبر عن النباتات الكبيرة وذلك على أساس وحدة المساحة ولو أن النباتات الكبيرة تفقد كميات من الماء اكبر إلا أن الماء المفقود بالنسبة لوحدة المساحة يكون اكثر في النباتات الصغيرة.

٣- تركيب الورقة: تختلف عدد الثغور الموجودة وسمك طبقة الكيوتين المغطية للأوراق وسطحية وتعمق الثغور على سطح الورقة وتعريق الأوراق باختلاف الأنواع النباتية مما يؤثر على معدل النتح.

العوامل البيئية

١-الرطوبة النسبية في الجو ارتفاع الرطوبة النسبية في الجو يترتب علية زيادة الضغط البخاري لبخار الماء في هذا الجو، ويؤدى ذلك بالطبع إلى تقليل البخر وبالتالي تقليل النتح.

٢- الرياح: يتسبب عن حركة الهواء تقليل الرطوبة النسبية بإزالة الهواء الرطب في الجو الملامس مباشرة لسطح الأوراق وبالتالي يزداد النتح. أما عند اشتداد الرياح فان الثغور تقفل، وبالتالي يقل معدل النتح. وتقفل الثغور هنا بسبب فقد النبات لكميات هائلة من الماء تؤدي إلى نقص شديد في انتفاخ البشرة والخلايا الحارسة وبالتالي تقفل الثغور.

٣-درجة الحرارة: يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى زيادة البخر وبالتالي إلى زيادة النتح وتعتبر عملية النتح عملية تلطف من حرارة النبات لان قدر كبير من الحرارة التي تتعرض لها أسطح الأوراق تستنفذ في تبخير كميات كبيرة من الماء في صورة نتح.

٤- الضوء: تتجلى دور الضوء من خلال تأثيره على حركة فتح وغلق الثغور كما أن الضوء الشديد يزيد من درجة الحرارة وبالتالي يزيد من معدل النتح

٥ – تيسر ماء التربة كلما كان ماء التربة محددا كلما قل امتصاص الجذور للماء ويؤثر ذلك بالطبع على التوازن المائي في النبات وعلى النتح.

امتصاص الماء

امتصاص النبات للماء تتم كالآتي: من المعروف أنّ لكل نبات جذور تعمل على تثبيته في التربة، وهذه الجذور لا تقتصر أهميتها على التثبيت فقط، بل إنّها هي التي تقوم بامتصاص الماء من التربة، بحيث تبدأ عملية الامتصاص من الشعيرات الجذرية؛ لأنّها رقيقه ومنفذة للماء، وخلايا البشرة القريبة منها، بعد ذلك ينتقل الماء من خلايا هذه المنطقة إلى خلايا أنسجة القشرة ومن ثم إلى خلايا البشرة الداخلية، ومن ثم إلى الدائرة المحيطيّة ليصل في النهاية إلى الخشب، وبعد ذلك ينتقل الماء إلى الساق ويتحرّك فيه إلى الأعلى

بحيث يشكل الخشب ممراً رئيسياً له، ويكون الماء محملاً ببعض المواد المذابة فيه كالأملاح وبعض السكريات الموجودة بتركيز منخفض، وفي نهاية المطاف يصل الماء إلى الأوراق، عن طريق النسيج الناقل الموجود في كل ورقة والذي يعمل على تغذيتها وإمدادها بما يكفيها من الماء.

أ – مسار تحرك الماء خلال الجذر

يمتص الماء بواسطة الشعيرات الجذرية وخلايا البشرة الأخرى القريبة من منطقة الشعيرات الجذرية ثم يتحرك الماء من هذه الخلايا إلى خلايا أنسجة القشرة ثم إلى الاندودرمس ثم إلى البريسيكل وفي النهاية إلى الخشب، يتحرك الماء إلى خلايا الاندودرمس خلال التدرج الأسموزي إلى البريسيكل ثم إلى الخلايا الموصلة للخشب، ويتصل نسيج خشب الجذر مباشرة بنسيج الخشب في الساق ولذلك يتحرك الماء من الجذر إلى الساق.

تركيب النسيج الناقل في الساق والأوراق: عند فحص قطاع عرضي لساق خشبية يلاحظ وجود منطقتين متمييزتين هما:

– القلف وهو على شكل حلقة خارجية تحيط بالساق وتتشقق أحيانا

– الخشب ويشكل أسطوانة إلى داخل القلف وقد يوجد النخاع داخل الخشب.

ويوجد بين أسطوانة الخشب أو القلف عدة صفوف من خلايا نشطة تسمى الكمبيومي الوعائي والذي ينقسم مكونا خلايا جديدة للخشب واللحاء ويحاط القلف من الخارج بالكمبيوم الفليني وهو نسيج مرستيمى تنقسم خلاياه ببطيء لذلك فان الانقسامات السنوية للكمبيوم الوعائي تؤدي إلى زيادة نسبة الخشب إلى القلف ويتكون الخشب من:

١- أوعية Vessels وهى خلايا متتابعة طوليا أسطوانية الشكل تفصل نهايتها مع بعضها البعض لتكون أنابيب طويلة نسبيا.

٢- قصيبات Tracheids وهى خلايا تميل للاستطالة ذات نهايات مدببة فتموت فيها البروتوبلاوم عند النضج وتحتوى بعض القصيبات على حالات نمو بشكل حلزوني، حلقي مكون من السليلوز واللكنن كما تحتوى جدرانها على نقر تسهل حركة الماء والمواد المذابة من قصيبة لأخرى.

كما تحتوى نسيج الخشب أيضا على أشعة وعائية تساعد على حركة الماء بصورة أفقية في الساق وبعض الخلايا البرانشيمية التي تخزن الماء والمواد الغذائية والألياف الخشبية وتعمل على دعم الأنسجة الأخرى.

-أما العروق الورقية فأنها عبارة عن حزم وعائية تتصل بمثيلاتها بعنق الورقة وتتركب العروق من خشب مكون من أوعية وقصيبات ولحاء مكونا أساسا من أنابيب منخليه ويكون الخشب القسم العلوي من العروق أي إلى جهة البشرة العلوية بينما يكون اللحاء القسم السفلي

ب – حركة الماء في الساق

يتحرك الماء إلى الأعلى مع بعض المواد الذائبة من أملاح ذائبة وتركيز منخفض من السكريات والممر الرئيسي للحاء هو الخشب وتختلف سرعة صعود الماء إلى الأعلى باختلاف النبات فصل النمو والظروف البيئية المحيطة

ج – حركة الماء في الأوراق

تمثل الأوراق المرحلة النهائية لحركة الماء في النبات، حيث يتصل نصل كل ورقة بالساق في عقدة الساق وفي العقدة يبرز النسيج الناقل الذى يغذى الورقة بالماء ويتوزع النسيج الناقل في كل ورقة باختلاف النبات، في أوراق معظم النباتات ذات الفلقة الواحدة تكون العروق موازية للعرق الرئيسي وتتفرع من هذه العروق فروع صغيرة ليصل الماء إلى كل منطقة في الورقة وفي نباتات ذات الفلقتين يختلف توزيع العروق في أوراقها فبعضها ذات عروق راحية حيث تتصل العروق الثانوية في الورقة بالعرق الرئيسي عند قاعدة الورقة. وفي البعض الآخر تكون العروق ريشية حيث يمتد العرق الوسطى إلى حافة الورقة وتتصل بها الأفرع من الجانبين.

طرق قياس سرعة حركة الماء

١ – حقن المحاليل الملونة والمواد المشعة

حيث يتم عمل شق في الساق وتحقن محاليل ملونة محاليل مواد مشعة باستعمال مكابس خاصة بضغط المحلول إلى أنابيب معدنية تفرز في الساق، يقاس الوقت الذى استغرق المحلول للوصول إلى ارتفاع معين حيث يقطع الساق إلى مقاطع ويلاحظ المقطع الذى وصلت إلية الصبغة ولكن هذه الطريقة غير دقيقة في نتائجها لان سرعة حركة الماء قد تتغير نتيجة شق الساق فرز الأنابيب.

٢ – الطريقة الحرارية

حيث يسخن الماء في الخشب بوضع سخان كهربائي على الساق وتقاس سرعة حركة الماء إلى الأعلى بواسطة محبس حرارى يوضع على ارتفاع مناسب من السخان وهذه الطريقة لها عيوب إلا أنها ما زالت تستخدم على نطاق واسع.

آلية امتصاص النبات للماء

هنالك آليتين لامتصاص النباتات للماء وهما كالآتي:

١. الامتصاص النشط: فيه يتم دفع الماء من قبل الجذر إلى أعلى النبات، بحيث يكون ضغط الماء داخل الساق موجباً.

٢. الامتصاص السلبي: وفيه يتم سحب الماء من أعلى النبات إلى الأسفل، وهنا يكون ضغط الماء داخل الساق سالباً. الجدول (١٣)

الجدول ١٣ : الفروقات بين الامتصاص النشط (الموجب) الامتصاص غير النشط (السالب)

	الامتصاص النشط (الموجب)	**الامتصاص غير النشط (السالب)**
١	يحتاج إلى طاقة	لا يحتاج إلى طاقة
٢	الأيونات لاتصل في النهاية إلى حالة توازن ديناميكي بين خارج وداخل الخلية	الأيونات تصل في النهاية إلى حالة توازن ديناميكي بين خارج وداخل الخلية
٣	امتصاص العناصر يكون متخصص	امتصاص العناصر يكون غير متخصص
٤	تحدث العملية في الجزء الداخلي من الخلية كالا غشيه الخلوية	تبادل الأيونات يحدث في الفراغ الحر والخارجي
٥	عكسي	غير عكسي
٦	يحدث في الخلايا الحية	يحدث في الخلايا الحية + الغير حيه

القنوات الأيونية Ion Channels

حركة الأيونات غير الحيوية عبر الغشاء تعتمد على التدرج الكهربائي الكيميائي السائد عبر الغشاء، وربما يحصل في أي اتجاه من الغشاء. لهذا فان الأغشية تسمح بالتدفق الداخلي والخارجي غير الحيوي للأيونات. معدل هذا التدفق يعتمد على نفاذية الغشاء، ويعرف بأنه كمية الأيونات التي ربما تنتقل بوحدة سطح الغشاء وبوحدة الزمن. هذه النفاذية تعتمد بشكل رئيس على القنوات الأيونية. معظم هذه القنوات لها صفة الانتقائية العالية، وهي منظمة وربما تفتح أو تغلق. في العقد الماضي من الزمن كان استعمال تقنية Patch- Clamp – Technique قد بين وجود القنوات في الأغشية الحيوانية، والنباتية وفي

أغشية الفطريات والبكتريا. أساس هذه التقنية هو أن المايكروالكترود (Microelectrode) يوضع بتماس مع غشاء الخلية الذي يحيط بالبروتوبلاست المعزول (Isolated Protoplast) ومثال على ذلك خلية منزوع عنها الجدار من اجل ملاحظة انتقال الأيون عبر المنطقة المحصورة من الغشاء. المنطقة الصغيرة التي فيها نهاية الالكترود على تماس مع الغشاء تسمى Patch، وان المنطقة التي تلتصق بنهاية الالكترود تكون سابحة (Bathed) في المحلول. الالكترود الصغير (ما يقرب من مايكرومول واحد) ربما يحتوي على قناة أيونية منفردة، استخدام دائرة كهربائية، فان الفرق في الجهد عبر الغشاء يمكن أن يحرك ببطء (Clamped) أو يثبت عند قيمة معينة وان تدفق التيار عبر المنطقة التي تكون فيها نهاية الالكترود على تماس مع الغشاء (Patch). إن قنوات غشاء (البلازما لما) لأنسجة النبات إلى حد ما مشابهة لتلك التي في غشاء البلازما لما للحيوانات والفطريات، بينما قنوات غشاء الفجوة تعود بدرجة كبيرة للقنوات في البكتريا (Lysozomes). فتح وغلق القنوات (Channel Gating) يعتمد بشكل كبير على اختلاف الجهد الكهربائي عبر الغشاء، وعلى تركيز Ca^{2+} في السايتوسول وكذلك أي أيضا على التدرج بالضغط بسبب الاختلاف بالضغط الانتفاخي (Turgor Pressure) إن بروتينات Ca^{2+} والبروتينات الحاوية على Kinases و Phosphatases ربما تشترك في عملية فتح وغلق القنوات، فتح القنوات الانيونية في غشاء البلازما لما يحفز التركيز العالي نسبياً للكالسيوم في السايتوسول. القناة الانيونية المعتمدة على الفولتية في الخلايا الحارسة محتاجة للكالسيوم وNucleotides وتفتح عند مدى للاختلاف في الجهد الكهربائي بين -٨٠ إلى -٢٠ ملفولت. إن معدلات النقل من خلال القنوات هو بشكل عام من ١٠٠-١٠٠٠ مرة أعلى من معدل النقل بالحامل (Carrier Transport) قناة الكلورايد بشكل خاص تسهم في اختلاف الجهد الكهربائي عبر الغشاء البلازما لما مادامت القناة المفتوحة تحدث تدفقاً قوياً للكلورايد إلى الخارج وبهذا فإنها تخفض الشحنة الكهربائية التي بدورها تخفض من القدرة الاهتزازية (Retention Capacity) للكاتيونات وبخاصة K^{+}. لهذا فان فتح قناة الكلورايد في غشاء البلازما لما يحدث تدفقاً خارجاً لكل من Cl^{-} و K^{+} ويؤدي إلى فقدان الخلية للضغط الانتفاخي هذا المثال يوضح كيف أن تنشيط القنوات الأيونية ربما يغير من الظروف الفسيولوجية للخلية. إن تنظيم الضغط الانتفاخي للخلايا الحارسة يحصل تقريباً من خلال تدفق الأيونات عبر غشاء البلازما لما حيث أن K^{+} هو الكاتيون الأكثر أهمية والماليت هو الانيون الأكثر أهمية في دورة السكر النباتية (Glycophytes). قنوات أيون البوتاسيوم هي الأبسط تركيبا من بين

القنوات الكاتيونية. هناك أدلة ناتجة عن تجارب من عدة أنواع من الأنسجة النباتية تؤيد وجود نوعين أساسين لتصحيح مسار (Rectifying) قناتي K^+ أحداهما باتجاه الخارج والأخرى باتجاه الداخل.

إن المصطلح Rectifying يعني بان تدفق K^+ يحصل على طول التدرج الكهربائي الكيميائي (انتقال غير حيوي). القناة الموجهة إلى الخارج يمكن أن تغلق (Blocked) بواسطة Ca^{2+} و Ba^{2+} الموجودين في المحلول الخارجي. هذه نتيجة مفرحة والتي تظهر بان تدفق K^+ إلى خارج الخلية ربما يمكن إيقافه بواسطة تركيز Ca^{2+} الذي هو اكثر من ٥ ملمول. إن تدفق K^+ إلى خارج الخلية ربما يحصل تحت الشد أو الإجهاد الفسيولوجي محدثاً انخفاضاً في فرق الجهد الكهربائي عبر غشاء البلازما لما. وهذا ربما يقود إلى فقدان ملحوظ في عنصر البوتاسيوم من النبات النامي في الترب الحامضية حيث أن محتوى محلول التربة من Ca^{+2} يكون واطئاً.

عدة قنوات أيونية والتي تضم قنوات K^+ المنشطة بالكالسيوم والصوديوم (Ca^{2+}-And Na^+- Activated K^+ Channels) وقنوات K^+ تفتح في غشاء البلازما لما عندما تصبح مستقطبة بشكل مفرط (Hyperpolarized)، ومثال على ذلك: عندما يكون الفرق بالجهد الكهربائي بين السايتوسول والوسط الخارجي عالياً جداً. غلاف الفجوة قادر على المحافظة على مستويات التركيز العالي بين السايتوسول والفجوة وهذا صحيح بشكل خاص مع Ca^{2+}، H^+ والماليت. التجمع الانيوني في الفجوة ربما يحصل من خلال تصحيح المسار (Rectifying) للقنوات الانيونية مادامت الشحنة الكهربائية للفجوة عالية بالنسبة إلى سايتوسول. تجمع النترات في الفجوة ذو أهمية خاصة مسرة، مادام أنها تخدم كخزين للنيتروجين الجاهز. معظم القنوات الأيونية لغشاء الفجوة هي أيضا منظمة لدخول وخروج الفولتية (Volt-Gated) ولهذا فإنها تعتمد على نشاط المضخة البروتونية لغشاء الفجوة. غشاء الفجوة يضم قنوات منشطة سريعة وبطيئة والتي تسمح بانتقال الأيون في كلا الاتجاهين. تم دور القنوات الفاعلة البطيئة غير واضح لحد الآن.

ميكانيكيات النقل الغشائي Chanisms Of Membrane Transport

القنوات الموجودة ببساطة تسمح بانتقال المواد الذائبة عبر الغشاء على طول التدرج الكهربائي الكيميائي. مثل هذه القنوات تضم الـ Aquaporins التي هي مسامات في الغشاء تسمح بالانتشار المسير لجزيئات الماء عبر الغشاء. هذا النوع من ميكانيكيات الانتقال يسمى بالانتشار الميسر (Fuciliated Diffusion) المواد الذائبة ربما تنتقل من خلال القنوات سوية مع الكاتيونات.

المعتمد الذي يتكون من الكاتيونات والمواد الذائبة هو ذو شحنة موجبة ولهذا فانه أيضا تبيع التدرج الكهربائية الكيميائي عندما يكون العبور عبر الغشاء. هذه الميكانيكية تسمى Symport أو Cotrans Port، وهو انتقال نشط من الدرجة الثانية (Secondary Active Transport)، لكون انتقال المواد الذائبة (Solutes) وحده هو ضد تدرجه الكهربائي الكيميائي وانه حصل فقد بواسطة ارتباط المواد الذائبة مع الكاتيون وهو انتقال يحصل على طول التدرج الكهربائي الكيميائي. انتقال Contransport البروتوني يؤدي دوراً مهماً ورئيساً في الفعاليات الحيوية للنبات. وفي هذه الحالة يرتبط بروتون واحد أو عدة بروتونات بالمواد الذائبة والتي ربما تكون أيونا، سكراً أو أحماضاً أمينية. النترات والفسفور والكبريتات هي أيضا تنقل عبر الأغشية بواسطة Proton Votranspor وبما أن هذه العناصر هي انيونات وتحمل شحنات سالبة فإنها تحتاج إلى بروتونات زائدة من اجل أن تكون معقدات ذات شحنات موجبة. إن أساسيات زائد ة من اجل أن تكون معقدات ذات شحنات موجبة. إن نشاط Atpase لغشاء البلازما لما هو أيضا مهم في استرجاع (Retrieval) الانيونات والمواد الناتجة من عمليات التمثيل الحيوية للنبات. وكنتيجة للسايتوسول ذي الشحنة السالبة، الانيونات ربما تنتشر خلال القنوات إلى خارج السايتوسول على طول التدرج الكهربائي الكيميائي. هذه الانيونات لربما يعاد امتصاصها بواسطة ميكانيكية Proton Cotrans Port والتي تسمى ميكانيكية الاسترجاع (Retrieval Mechanism). إيقاف نشاط Atpase بواسطة الفاناديت ينتج عنه تحرر الانيونات الرئيس مادام هناك غياب H^+ في المحلول الخارجي لعملية الاسترجاع. وبطريق مشابه استرجاع السكريات قد لوحظ انه يتوقف إذا كانت مضخة البروتون لغشاء البلازما لما قد اعترض سبيل عملها.

المواقع المستقلة للأيونات داخل خلايا النبات

Compartmentation Of Ions In Plant Cells

الأنظمة في غشاء البلازما لما هي H^+/Sucrose Atpasc، H^+/Glucose وأنظمة H^+/Amino Acid للنقل المساعد. والأنظمة الموجودة في غشاء الفجوة هي V-Atpase و Vappase والتي تجهز البروتونات لنظام H^+/Glucose و H^+/Aminoacid ونظام H^+/Sucrose Antiport التي تعمل على نقل الأحماض الأمينية والكلوكوز والسكروز إلى فجوة الخلية. كل هذه الميكانيكيات توجد حاجة إليها لوضع الأيونات والمواد الناتجة من العمليات الحيوية للنبات في داخل الخلية وفي مواقع مستقلة (Compartmentation Ofions) والتي تكون ذات

أهمية للفعاليات الحيوية الاعتيادية للنبات. تركيز Ca^{2+} في السايتوسول يحافظ عليه بان يكون منخفضاً جداً بشكل عام اقل من ١ ملمول/م٣ والا فان فوسفات الكالسيوم ستترسب عند درجة التفاعل المرتفعة السائدة. Ca^{2+} الفائض الذي يتحرك إلى السايتوسول يضخ راجعاً إلى داخل Apoplust أو يتم حشره في الفجوة بواسطة ميكانيكيةProton Antiport . تركيز K^{+} في السايتوسول عال وهو عند مدى ١٠٠–١٥٠ مول/م٣. هذا التركيز يحتاج له للتمثيل الأمثل للبروتين

الاتزان الكاتيوني/ الانيوني والتضاد الأيوني

Cation Lanion Balance And Ion Antagonism

الملاحظات تشير إلى أن خلايا النبات مشحونة بشحنات سالبة مقارنة بالوسط الخارجي، وهذا يفهم ضمنياً بأنها تحتوي على فائض من الشحنات السالبة. ولكن هذا الفائض هو قليل جداً بحيث انه لا يمكن قياسه بطرق التحليل الكيميائية وحتى عندما تكون الاختلافات بالجهد الكهربائي عالية، ولكن يمكن أن يقدر فقط بقياس الجهود الكهربائية للخلايا. إن المجموع الكلي للمكافئات الانيونية (Anions Equivalents) تكون في الخلية أو النسيج النباتي لهذا يكون عملياً (Virtually) مساوياً للمجموع الكلي للكاتيونات. في هذا التوازن الانيونات العضوية تمثل جزءاً لا بأس به أو ملحوظاً للمكافئات الكاتيونية والانيونية. إنتاج الانيونات العضوية يعود إلى نشاط المضخات البروتونية لغشاء البلازما وغشاء الفجوة. أن المضخات البروتونية تنتج OH واحد في كل H+ يضخ إلى الوسط الخارجي أو إلى فجوة الخلية. الاستمرار بالضخ لهذا ينتج عنه ارتفاع كبير في درجة تفاعل السايتوسول ما لم تستخدم OH^{-} في تكون الماليت طبقاً للنظام PEP Lmalate Buffer لهذا فان الشحنة السالبة للـOH^{-} تنتقل إلى OAA ومنه إلى الماليت ولغيره من الأيونات العضوية. أنه عندما يتم تغذية النبات على NO_3-N فان تراكيز الكاتيونات والانيونات العضوية في النبات كانت أعلى مما هو عليه عندما تمت تغذية النبات على NH_4-N. هذه الظاهرة قد فسرت على أساس الاتزان بين الكاتيونات والانيونات. ليس فقط تراكيز الأيون قد تأثرت ولكن نمو النبات أيضا حيث كان ضعيفاً في معاملة الأمونيوم. الانخفاض في النمو قد حصل عند درجة التفاعل الواطئة المرتبطة بالتغذية بالأمونيوم، وهذا أول مؤشر على سمية NH_4^{+}. محصلة تحرر H^{+} من الجذور تحت ظروف درجة التفاعل الواطئة قد انخفضت بشدة ولهذا فإن عملية تنظيم درجة التفاعل (pH) في السايتوسول قد تشوشت، وكنتيجة لانخفاض درجة تفاعل السايتول فإنه متوقع تحت فشل هذه الظروف، أن تكون كمية أخرى من الماليت يجب أن

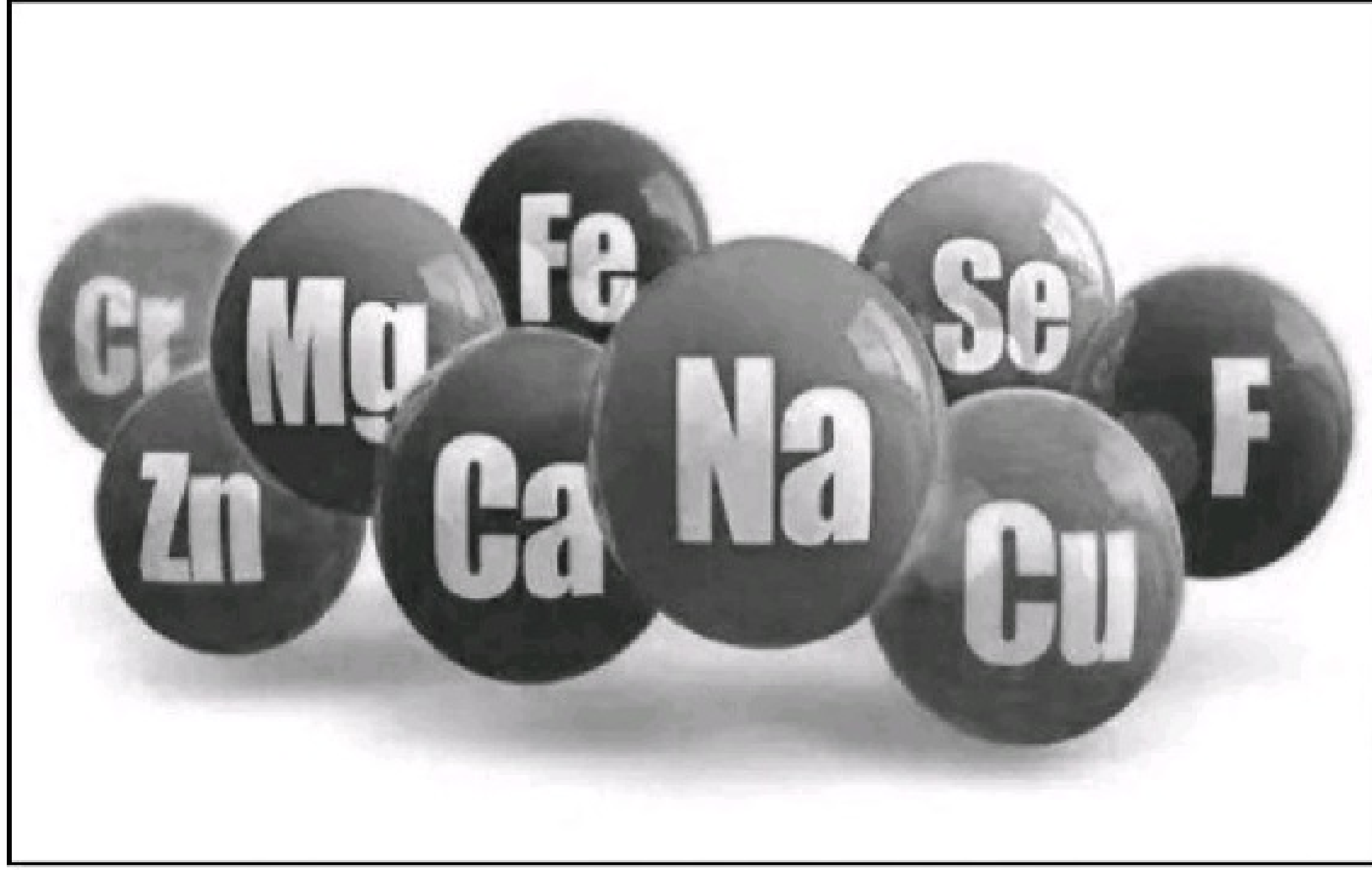
يحصل لها عملية Decarboxylation طبقاً لنظرية تثبيت الـpH، إن الانخفاض في تحرر H^+ من الجذور يحدث بواسطة pH الواطئ الناتج عن التغذية بالأمونيوم. وهذا أيضا يعني بأن الاختلاف في الجهد الكهربائي عبر غشاء البلازما ينخفض ولهذا أيضا تكون سعة الخلية الاتزازية (Retention Capacity) للكاتيونات وبخاصة للبوتاسيوم. التغذية المفرطة بالأمونيوم تؤدي إلى خفض درجة التفاعل في الوسط الغذائي بسبب أن ضخ H^+ إلى الخارج الوسط الغذائي بواسطة مضخة H^+ لغشاء البلازما لم يتم إعادته أو استرجاعه إلى السايتوبلازم بواسطة H^+/ Nitrate Cotransport

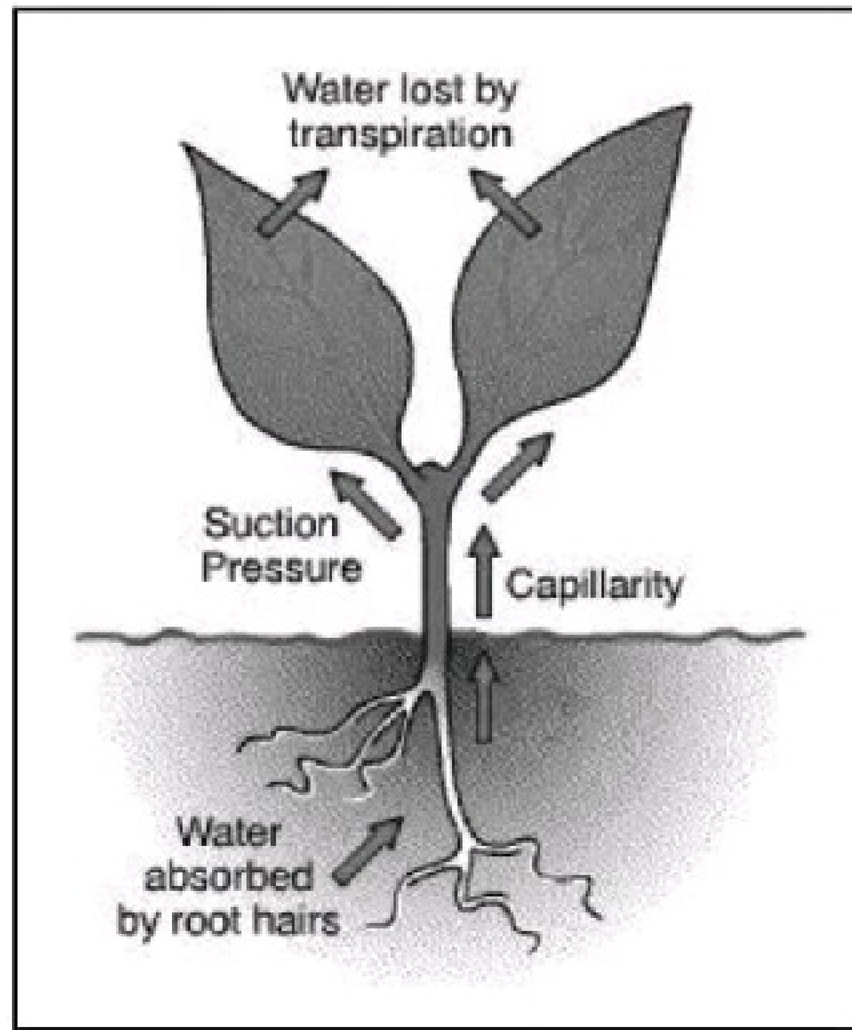
العلاقة بين معدل الامتصاص وتركيز الأيون في المحول الغذائي

Relationship Between Uptake Rate And The Ion Concentrtion In The Nutrient Solution

من حيث الأساس معدل امتصاص العنصر الغذائي يسيطر عليه بواسطة معدل نمو النبات وكذلك يعود إلى الاحتياج الفسيولوجي. مثال على ذلك محاصيل الحبوب تحتاج للنيتروجين في مرحلة ملء الحبوب ولهذا فإنها تقوم بامتصاص النيتروجين في هذه المرحلة المتأخرة في نمو النبات، وبشكل مغاير للبوتاسيوم الذي يمتص بشكل رئيسي في مرحلة النمو الخضري للنبات وليس في مرحلة الإنتاج. المعدلات العالية من النمو ترتبط مع معدلات الامتصاص العالي للعناصر الغذائية والعكس صحيح. النباتات التي تعاني من نقص في أحد العناصر الغذائية قد تمتص هذا العنصر بمعدل عالٍ وإذا ما تعرضت هذه النباتات لمحاليل تغذية حاوية على تراكيز متزايدة من العنصر الذي تعاني من نقصه هذه النباتات، فإن رسم منحنى العلاقة بين معدل الامتصاص وتركيز العنصر في محلول الامتصاص ربما يُعكس بمنحنى Michaelis- Mentenlهذه الملاحظة امتصاص الأيون قد ينظر إليه كعملية مشابهة لتلك العملية التي يشترك فيها أنزيم. وهذا قد يكون مقبولاً إذا كان الامتصاص يعود لنظام امتصاص معين واحد. البحوث الحديثة في القنوات الأيونية قد وضحت بأن العديد من الأنظمة المختلفة قد تكون مسؤولة عن امتصاص نوعية معينة من الأيونات وأن تركيز الأيون في خلايا النبات لا يعتمد من قريبٍ ولا من بعيد بتركيز ذلك الأيون في التربة أو في المحلول المغذي. إلا إذا كان التراكيز في الخلية قد انخفض إلى أدنى من المستوى الذي تم البدء به (Level Threshold) أي مستوى البداية، فعند ذلك يمتص الأيون بمعدلات عالية. بالنسبة للعناصر

K^+,Na^+، $H_2PO_4^-$ و Cl^- إذا كان معدل امتصاصها واطئاً فهذا يدل على وجود تراكيز عالية من هذه العناصر في السايتول. النتائج هذه التي تم التوصل إليها تعطي أدلة على أن معدلات امتصاص الأيون تُنظيم اعتماداً على تركيز العنصر الغذائي المعين في أنسجة النبات. إن ميكانيكية هذا التنظيم غير مفهومة لحد الآن. لهذا فهناك ملاحظات وهي أنه عندما يكون الطلب عالياً فإن الجينات المسؤولة عن أنظمة الانتقال في العشاء تسرع في تنظيمها. أخيراً يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار بأن امتصاص العنصر الغذائي محتاج إلى طاقة وبشكل رئيسي على صورة ATP لقيادة المضخات البروتونية. إذا كان تجهيز الأوكسجين محدوداً وكان خزين النبات من الكربوهيدرات واطئاً فإن امتصاص العنصر الغذائي يكون واطئاً أيضا. امتصاص الأمونيوم كمثال، من قبل نباتات الرز التي عرضت في بعض المعاملات إلى الظلام قبل الامتصاص.





الفصل السادس

النتروجين

استهلال

- يمثل النتروجين أهمية خاصة في تغذية النبات ليس لكونه من العناصر الضرورية التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة فحسب، ولكن لان الصخور في الطبيعة لا تجهز هذا العنصر كتجهيزها للعناصر الغذائية الضرورية الأخرى.
- جميع العناصر مصدرها التربة، إلا النتروجين مصدره الهواء، ويشكل ٧٩.٨% من الهواء الجوي للأرض، والنباتات لوحدها قادرة على الاستفادة منه، لذا فهو عنصر غازي غير معدني
- عنصر متحرك في التربة والنبات
- نسبة النتروجين في النبات تبلغ ٢-٤% من الوزن الجاف ويأتي بالمرتبة الرابعة بعد الهيدروجين والأوكسجين والكربون
- يحصل النبات على النتروجين بشكل نترات NO_3^- أو أمونيوم NH_4^+ أو كلاهما، وهو العنصر الوحيد من بين العناصر الغذائية الذي يمتص سالب وموجب
- تصل نسبة النتروجين الكلي في التربة إلى ١% أو أكثر في التربة الغنية وينخفض إلى ٠.٠٥% في الترب الفقيرة
- يحتوي الغلاف الجوي على ما يقارب ٣.٨ X ١٠^{١٥} طن من النتروجين الجزيئي
- كمية النتروجين في الجزء اليابس من التربة ١٨X١٠^{١٥} طن، في صيغة مركبات عضوية
- لا يستفاد من النتروجين إلا عن طريق الإحياء المجهرية الحرة والتكافلية
- العائلة البقولية هي العائلة النباتية الوحيدة التي تستطيع الاستفادة من النتروجين عن طريق عقدها الجذرية
- نسبته في البروتينات ١٦ % ولا تقل أهميته للنباتات عن أهمية الماء الضروري لنموها وفعالياتها الأيضية
- التغذية بالنتروجين لها تأثير واضح في نمو النباتات إذ أنه ينظم عمل الهرمونات النباتية (الاوكسينات والسايتوكينات) مما يزيد من انقسامات الخلايا المرستيمية، فينعكس ايجابيا على المجموع الخضري وإنتاج

الأزهار، ويسهم في زيادة كفاءة النبات في إمتصاص الماء والمغذيات الضرورية من التربة وتمثيلها، ولاسيما الفوسفور والبوتاسيوم.

النتروجين في الطبيعة

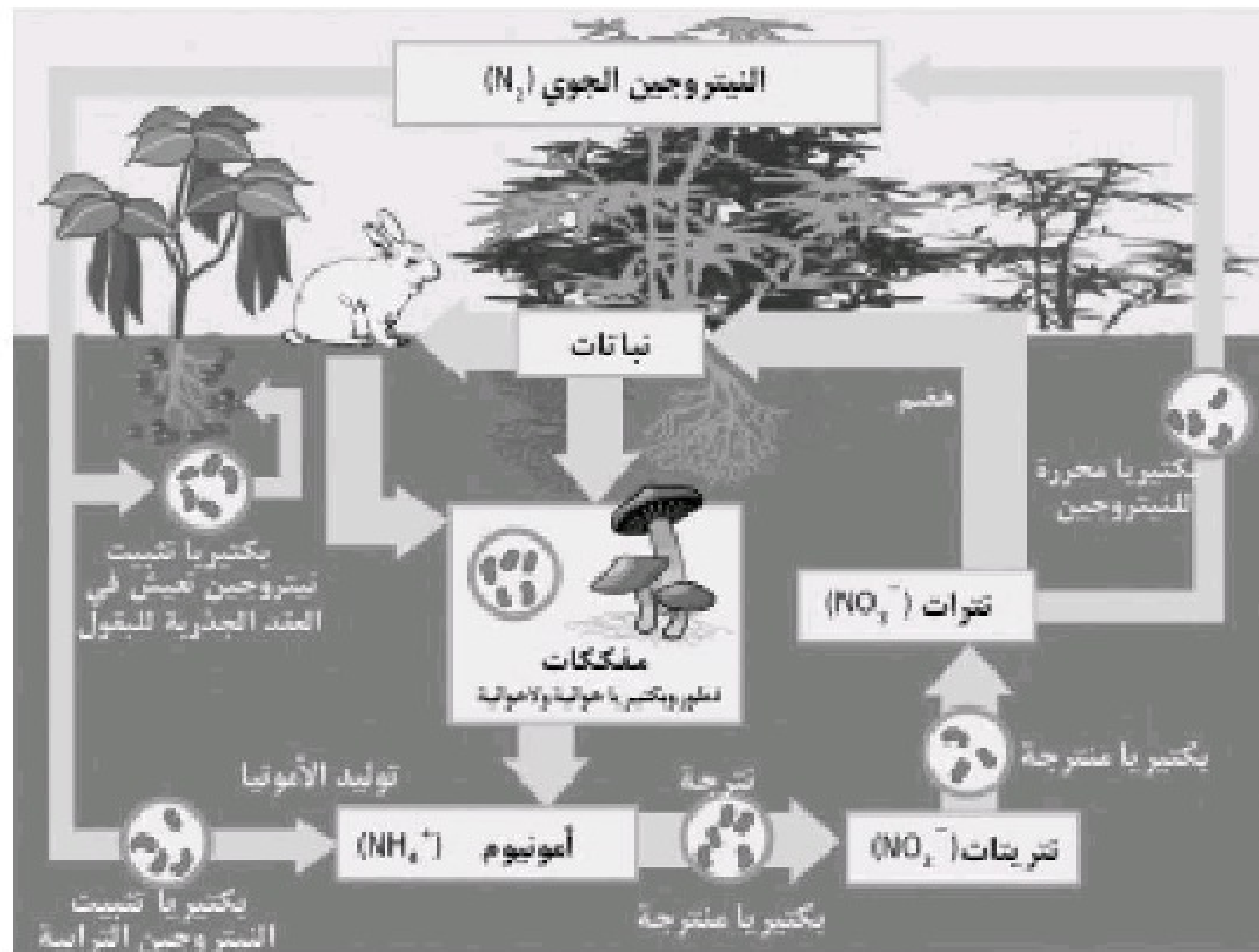
النيتروجين هو واحد من اكثر العناصر توزيعاً في الطبيعة إذ يوجد في الغلاف الجوي وفي الجزء اليابس من التربة (Lithosphere) وفي (Hydrosphere). ومن الجدول (١٦) يلاحظ بان الغلاف الجوي هو المخزن الرئيس للنيتروجين.

الجدول ١٦: كميات النيتروجين في الأغلفة المختلفة

الأغلفة المختلفة	غم N ذري × $١٠^{١٢}$
N_2 الغلاف الجوي (Atmosphere)	٢.٨ × $١٠^{٨}$
N_2O الغلاف الجوي	١.٣ × $١٠^{٢}$
N العضوي في الجزء اليابس من الأرض	٥.٧ × $١٠^{٧}$
N المعدني في الجزء اليابس من التربة	١.٤ × $١٠^{٧}$
N العضوي في الغلاف الأرضي المائي	٢.٤ × $١٠^{٤}$
N المعدني في الغلاف الأرضي المائي	٧.١ × $١٠^{٣}$
N العضوي للترب	١.٢٥ × $١٠^{٤}$
N المعدني للترب	١.١٥ × $١٠^{٤}$
النباتات البرية (Terrestrial)	٥.٧ × $١٠^{٢}$
الحيوانات البرية	١.٥ × ١٠
النباتات البحرية (Marine)	١.٤ × ١٠
الحيوانات البحرية	١.٤ × ١٠

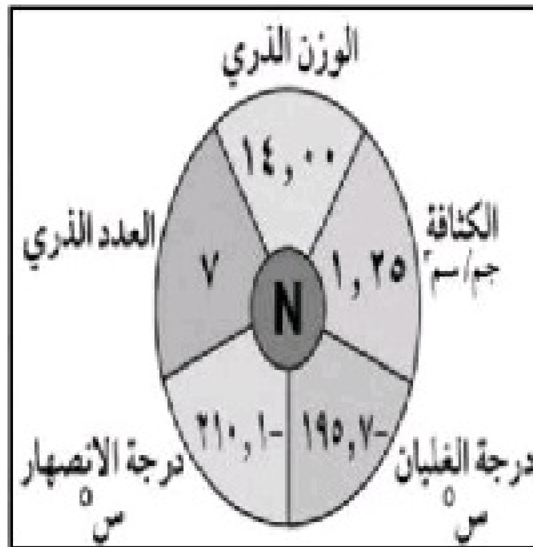
التربة تحتوي على جزء صغير من نتروجين الجزء اليابس من التربة ومن هذا النتروجين العائد إلى التربة جزء صغير جداً يكون جاهزاً بصورة مباشرة للنباتات، نيتروجين التربة يوجد على شكل نترات أو أمونيوم.

النتروجين عنصر متحرك إذ له دورة سريعة بين الغلاف الجوي والتربة والكائنات الحية، عوامل وعمليات متعددة تشترك في دورة النتروجين، قسم منها كيميائي – فيزيائي والآخر حيوي. الخطوط الرئيسة لدورة النتروجين في الطبيعة موجودة في الشكل المرفق



دورة النتروجين في الطبيعية

مصادر النتروجين



١. النتروجين الجوي ويشكل ٧٩.٨% سواء كان التثبيت بواسطة الأحياء المجهرية في التربة أو بواسطة ظاهرتي البرق والرعد. جزيئة النتروجين N_2 الحاوية على ثلاث أواصر تعد غير فعالة كيمياويا على الرغم من ارتفاع نسبة النتروجين في الهواء الجوي إلى ٧٩.٨% ، الكائنات الحية لا تستطيع الحصول عليه بسهولة علماً انه يدخل في النبات مع CO_2 عن طريق الثغور بكميات قليلة جداً.



٢. النتروجين العضوي الموجود في البقايا النباتية والحيوانية.

٣. النتروجين المضاف إلى التربة كالأسمدة.

٤. مصادر النتروجين غير العضوية للنباتات في التربة: وتكون بشكل مركبات نتراتية وأمونيومية في محلول التربة المائي وعلى غرويات التربة.

صور النتروجين في التربة

تختلف الترب في محتواها النتروجيني بسبب ارتباط هذه الكمية بعوامل عديدة يتعلق البعض منها بالظروف البيئية المحيطة وطبيعة النباتات المزروعة وخصائص التربة الكيمياوية والفيزيائية ويمكن إيجاز العوامل التي تحدد محتوى التربة من النتروجين الكلي بمحتوى التربة من المادة العضوية وكمية الغطاء النباتي والظروف المناخية ومادة الأصل. أن محتوى المنطقة الجذرية من النتروجين يتراوح بين ٠.٠٢–٠.٤%. ويمكن تقسيم صور النتروجين إلى صور عضوية Organic Forms

تشكل الصور العضوية نسبة عالية جدا" (أكثر من ٩٠%) من محتوى التربة من النتروجين بالمقارنة مع الصور المعدنية. يوجد النتروجين العضوي على هيئة مركبات عضوية متعددة أهمها الأحماض الأمينية والبروتينات والسكريات الأمينية والفيتامينات وغيرها من المعقدات العضوية ذات التركيب غير المتجانس. تشكل الأحماض الأمينية حوالي ٢٠–٤٠% من النتروجين الكلي والسكريات الأمينية ٥–١٠%. لا يستطيع النبات الاستفادة من الصور العضوية إلا بعد أن تتحلل بوساطة أحياء التربة المجهرية إلى صور معدنية.

١. صور معدنية Inorganic Forms

أن الصور الآتية تمثل الصور المعدنية للنتروجين في التربة NO وN_2O وNO_2 وNO_3 وNH_4 وهيدروكسيد الأمين (NH_2OH) وتعد الصورة الأخيرة الصورة الوسطية التي تتكون خلال عملية النترجة. أما الصور NO_3 وNH_4 وNO_2 فهي مهمة من ناحية خصوبة التربة وتغذية النبات وقد تشكل هذه الصور نسبة قد تقل عن ٢% من كمية النتروجين الكلي بالتربة. ويتكون أيون الأمونيوم في التربة بعملية النشدرة نتيجة لتحول المركبات العضوية البروتينية إلى أحماض أمينية ومن ثم إلى أمونيوم. ويمكن أيجاز الاحتمالات التي ترافق الأمونيوم المتكون في التربة بالآتي:

١) يدخل في تفاعلات التبادل الأيوني
٢) قد يمتص من قبل النباتات النامية
٣) يستغل من قبل أحياء التربة المحللة للمادة العضوية
٤) يثبت في غرويات التربة
٥) قد تتطاير الأمونيا المتكونة قبل تحويلها إلى أيون الأمونيوم لاسيما عند توفر الظروف المناسبة لذلك.

ومن العوامل التي تؤثر في تطاير الأمونيا: درجة تفاعل الوسط ودرجة الحرارة والسعة التبادلية الكاتيونية ونوع الكاتيون المتبادل وتأثير الأملاح ومستوى السماد المضاف وطريقته ومحتوى التربة الرطوبي.

ومن العوامل التي تؤثر في عملية النشدرة: نسبة الكاربون إلى النتروجين والظروف البيئية المحيطة.

٢. يتحول النتروجين من الصورة العضوية إلى المعدنية وبالعكس.

نيتروجين محلول التربة

إن اكثر المواد الذائبة في محلول التربة الحاوية على النيتروجين أهمية هي النترات، المركبات النيتروجينية العضوية ذات الأوزان الجزيئية الواطئة والأمونيوم.

الأمونيوم بصورة خاصة عالية في الترب غير الهوائية (الترب المغمورة بالماء) وفي الكثير من الأحيان تكون واطئة في الترب الهوائية بسبب حصول عملية التأزت السريعة على الأمونيوم. الإضافات الكبيرة من فضلات الحيوان (Slurry) هي أيضا تؤدي إلى حصول زيادة عابرة في الأمونيوم الذائبة. تركيز المواد الذائبة الحاوية على النيتروجين ولاسيما تلك العائدة للنترات قد تتغير بسرعة نتيجة للعمليات مثل الامتصاص عن طريق جذور النبات والكائنات الحية الدقيقة، الغسيل والفقدان على شكل غازات. الظروف المفضلة لعملية التأزت تؤدي إلى زيادة تركيز NO_3^- في محلول التربة. ففي الربيع عندما ترتفع درجة الحرارة وتزداد تهوية التربة فإن تركيز NO_3^- في محلول التربة يزداد كذلك، عندما يكون طلب المحصول على النترات عالياً فان NO_3^- تمتص بسرعة من جذور النبات ويكون ذلك مصحوباً مع استنزاف النترات في محلول التربة. محتوى التربة من النترات يزداد حتى فصل الصيف وبعد ذلك تغسل النترات بالأمطار الصيفية إلى طبقات التربة العميقة ويقل تركيزها. مستويات النترات في محلول التربة لا تزيد على ٢٠ إلى ٣٠ مول/م^3 بعد إضافة الأسمدة النيتروجينية. في الأتربة الخصبة فإن تركيز النترات اعتيادياً يتراوح بين ٢ و ٢٠ مول/م^3 اعتماداً على معدل عملية التعدين وامتصاص النترات من النبات. إضافة السماد النيتروجيني في الربيع إلى الشتاء ينتج عنها زيادة حادة في النترات في الترب، ومن الطبيعي تركيز NO_3^- لمحلول التربة يُعد ذات أهمية مباشرة في امتصاص N من قبل المحصول. في مُدد الجفاف NO_3^- قد تتجمع في طبقة التربة العليا.



فقد النتروجين

يعاني النتروجين من فقدان كبير في التربة عن طريق:

١. تحول صور النتروجين من صورة إلى أخرى غير قابلة للاستفادة

٢. امتصاص كبير من قبل النباتات والكائنات الحية في التربة

٣. تثبيت بين طبقات بعض معادن الطين بحيث تصبح في صورة غير قابلة للاستفادة

٤. إدمصاص على أسطح الغرويات

٥. تطاير في درجات الحرارة الاعتيادية

٦. غسل إلى طبقات التربة السفلى

وتؤثر عوامل عديدة في عملية تحول وفقد النتروجين منها

١. درجة الحرارة: وان هنالك علاقة عكسية بين كمية النتروجين في التربة ومعدل درجات الحرارة فكلما قلت درجات الحرارة عن ١٠مْ كلما زادت محتويات التربة من النتروجين بمقدار ٢ – ٣ أضعاف، وان ارتفاع درجة الحرارة المئوية من ٢ْ إلى ٣٢ْ قد أدى إلى زيادة في كمية الأمونيا المتطايرة من الأسمدة النيتروجينية المضافة بشكل عام.

٢. درجة تفاعل التربة: تؤثر درجة تفاعل التربة في فقد النتروجين بشكل أمونيا متطايرة من الأسمدة الأمونيومية واليوريا المضافة إلى التربة (ارتفاعها اكثر من ٨.٥)، إن هناك زيادة تطاير الأمونيا من ١.٧% إلى ٢٠.٥% من كمية النتروجين المضاف إلى التربة عند ارتفاع درجة تفاعل التربة من ٥.٦ إلى ٧.٢.

٣. ارتفاع نسبة الكربونات في التربة: هنالك علاقة ارتباط عالية المعنوية بين الأمونيا المتطايرة من الأسمدة النيتروجينية المضافة للتربة ودرجة تفاعل التربة ومحتواها من الكربونات.

٤. نسجه التربة ومحتواها الرطوبي ومستويات الملوحة فيها ومحتواها من المعادن الطينية تأثيرا كبيرا في فقد النتروجين، كميات كبيرة من أيونات الأمونيوم تصبح قابلة للتبادل الأيوني الموجب مع مركبات أخرى إذا احتوت التربة على مقدار كبير من الغرين لذلك تقل تراكيز أيونات الأمونيوم في محلول التربة. وان فقد الأمونيا بالتطاير في الترب الرملية يكون اعلى منه في الترب الطينية وهذا يرتبط بالسعة التبادلية للأيونات الموجبة وحفظ الأمونيوم بشكله المتبادل والتقليل من فقده، ووجود علاقة ارتباط عالية المعنوية بين الأمونيا المتطايرة وزيادة مستويات ملوحة التربة، يعزى السبب إلى الملوحة العالية التي تثبط عملية

Nitrification مما يؤدي إلى تراكم الأمونيوم وتطاير النتروجين بشكل أمونيا وان غسل النترات ترافق مع الإضافات العالية من الأسمدة النيتروجينية في الترب الرملية.

تثبيت النتروجين

أولا: عن طريق الأحياء

١. البكتريا الحرة، (وأهمها Azotobacter و Clostridium) وتثبت ٥-١٠ كغم نتروجين. هكتار$^{-1}$

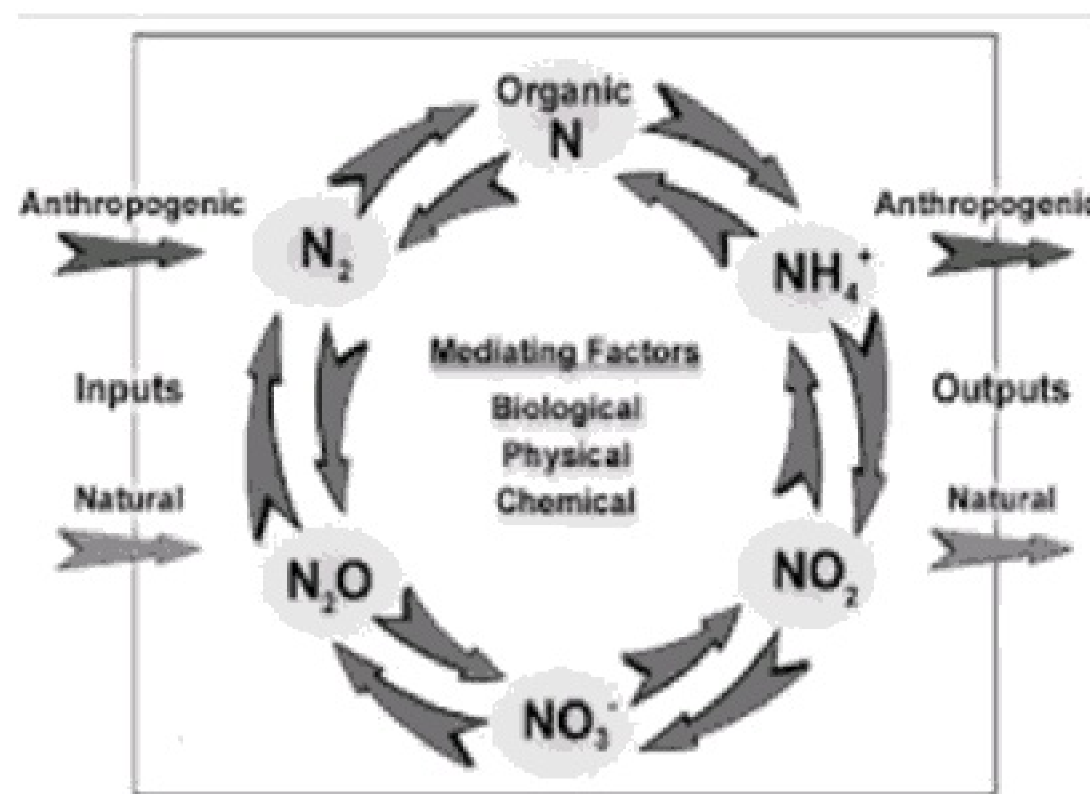
٢. البكتريا التكافلية، لها القدرة بالتكافل مع كائن حي آخر، مثل العائلة البقولية، حيث تثبت ١٠٠-٤٠٠ كغم نتروجين. هكتار$^{-1}$

٣. التثبيت بواسطة الفطريات التي تعيش تكافليا مع جذور النباتات

٤. طحالب زرقاء مخضرة

ثانيا: تثبيت النتروجين الجوي عن طريق تفريغ الشحنات الكهربائية في الجو (البرق)

ثالثا: تثبيت النتروجين الجوي صناعيا.



الجدول ١٧ : النتروجين المكتسب من التثبيت البيولوجي للنتروجين

نظام البيئة	معدل القيم كغم نتروجين / هكتار/ السنة
الأراضي الصالحة للزراعة	٧–٢٨
الأعشاب غير البقولية	٧–١١٤
الأعشاب البقولية	٧٣–٨٦٥
الغابات	٥٨–٥٩٤
حقول الرز	١٣–٩٩
المياه	٧٠–٢٥٠

تثبيت الأمونيوم

أن أيون الأمونيوم المضاف للتربة أو الناتج من عملية المعدنة يتعرض إلى التثبيت بين طبقات الطين مما يعرقل حركته ومقدرته التجهيزية للنبات وتعد معادن الطين ٢:١ من معادن الفيرميكوليت والسمكتايت والالايت المسؤولة عن عملية التثبيت من خلال دخول أيون الأمونيوم للفجوة السداسية المتواجدة في تشكيلة طبقة التتراهيدراسليكا التي نصف قطرها ١.٣٥ أنجستروم. وان كمية الأمونيوم المثبتة في معادن ٢:١ بحوالي ٢٠٠٠–٣٠٠٠ كغم N.هـ$^{-1}$ وأن حوالي ١٠٠–٣٠٠ كغمN.هـ$^{-1}$ قد يطلق خلال مدة النمو. أن للمادة العضوية دورا" كبيرا" في زيادة مقدرة التربة على تثبيت الأمونيوم من خلال انجذابها إلى المجاميع الكربوكسيلية والفينولية المتأينة في الوسط القاعدي، تتأثر عملية تثبيت الأمونيوم بعوامل متعددة يمكن إيجازها بالآتي: فترة التفاعل وكمية الأمونيوم المضافة ودورات الترطيب والتجفيف ونوع المعدن السائد ومحتوى مادة التربة العضوية ومحتوى التربة من معادن الكربونات وتأثير الأيونات الأخرى مثلK^+ و Rb^+ و Cs^+ وأخيرا" تأثير الأيون المرافق للأمونيوم. والجدول (١٧) يوضح تحولات النتروجين في التربة

الجدول ١٧ : تحولات النتروجين في التربة

الظاهرة	طبيعة الظاهرة	البكتريا القائمة بالعملية
النشدرة	تحول النتروجين العضوي إلى آزوت نشادري	بعض البكتريا الهوائية والفطريات (العفن)
النترجة (التأزت)	تحول النتروجين النشادري إلى آزوت نتريتي ثم إلى نتراتي صالح لامتصاص النبات	بكتريا ازوتوموناس بكتريا نتروباكتر
معاكس النترتة (التآزت)	ظاهرة عكسية تحول النترات إلى نتريت ثم إلى نشادر وأيضا إلى آزوت غازي	بكتيريا مختلفة غير هوائية
التعضي	تشكل الأجسام الميكروبية من مختلف العناصر المعدنية الموجودة في التربة	كائنات حية دقيقة متعددة
تثبيت النتروجين	بواسطة البقوليات	بكتريا العقد الجذرية بالتعايش مع جذور البقوليات
	بواسطة الطحالب	بكتريا هوائية بالتعايش مع الطحالب
	تثبيت مباشر	بكتريا ازوتو باكتر: هوائية بكتريا كلوستر يديوم: غير هوائية

الأهمية الزراعية الحقلية لتثبيت N_2 البيولوجي

البوتاسيوم والفسفور يقود إلى حصول زيادة في تثبيت N_2 البيولوجي وهذا يعد قوة نيتروجينية جديدة أضيفت إلى الأنظمة الزراعية، أما المخلفات العضوية فالمزيد منها بقي، وكميات كبيرة من السماد العضوي قد عادت إلى التربة، بهذه الوسائل مستويات المادة العضوية للتربة والعناصر الغذائية الجاهزة في التربة قد ازدادت مع فوائد إيجابية متعددة لسعادة الفلاحين، في النصف الثاني من القرن التاسع عشر تثبيت N_2 بيولوجيا كان اهم مصدر لسماد النيتروجين، وان الطريقة التقنية لتثبيت نيتروجين الغلاف الجوي لازالت بحاجة إلى اكتشاف. إن اكتشاف Hellriegel Hermann بان العقد الجذرية للنباتات البقولية

تحتوي على بكتريا قادرة على تثبيت نيتروجين الغلاف الجوي حفزت بصورة كبيرة في زراعة أنواع البقوليات.

استخدام الأسمدة في الدول النامية في الوقت الحاضر يشبه في بعض المجالات استخدام أوربا في منتصف القرن التاسع عشر للأسمدة مع مختلف العناصر الغذائية وفي الكثير من الأحيان التجهيز يكون غير ملائم وبذلك يرافقه حاصل واطئ للمحصول. إن التربة المحروثة لزراعة المحاصيل لنمو فيها محدود للتجهيز غير الملائم بالعناصر الغذائية إذ إن ٨٠٪ منها بعنصر الفسفور و ٣٥٪ منها بالموليبديوم و ٥-١٠٪ بالكبريت والبوتاسيوم والزنك. في معظم الترب الاستوائية النيتروجين هو أيضا غير ملائم للحاصل الجيد للمحاصيل. إن الاستخدام المعوق للأسمدة الكيميائية ولاسيما النيتروجين في معظم الدول النامية سببه ارتفاع أسعار السماد، وعدم جاهزيته، وضعف أسس التسويق. تثبيت N_2 البيولوجي لهذا وبوصف عام هو الوسيلة الأرخص والأكفأ في تحسين الحاصل وخصوبة التربة. محاصيل بقولية متعددة مثل بقوليات الحبوب، والبقوليات العلفية، والشجيرات والأشجار المثبتة لـ N_2 والحشائش الاستوائية ذات البكتريا الداخلية المثبتة لـ N_2 يمكن أن تستخدم بوصفها مصدراً للنيتروجين للأنظمة الزراعية المختلفة. كل هذه ذات احتياجات معروفة وهي أن العناصر الغذائية عدا النيتروجين يجب أن تكون متوفرة بكميات مناسبة.

إن كمية النيتروجين التي تثبت بوساطة الشجيرات البقولية والأشجار هي بمدى ١٠٠ إلى ٦٠٠ كغم N/ هكتار/ السنة. هذه الأنواع من النباتات التي تعود بشكل رئيس إلى الأجناس *Accacia*، *Erythrina*، *leucaena*، *Mimosa* قد تستعمل في الزراعة الغاباتية مع زراعة المماشي للحدائق. تستعمل الأوراق بوصفها سماداً أخضر بينما الخشب الذي ينتج قد يخدم أغراض أخرى. إن جذور وسيقان وأوراق أشجار النخيل هي أيضا تستعمرها البكتريا المثبتة لـ N_2 (*Herbaspirillum, Azospirillum*) حيث إمكانية استعمال أشجار النخيل بوصفها مصدراً للنيتروجين في الزراعة الغاباتية.

النمو الغزير للبقوليات وإغناء مادة التربة العضوية بوساطة الكتلة الحيوية المنتجة، تقوم بنقل كميات كبيرة من الفسفور من المستودع المعدني إلى المستودع العضوي وهذا قد يجعل الفسفور اكثر جاهزية للمحاصيل ويعرقل تثبيت الفسفور الذي هو عملية معروفة في الترب الحامضية الاستوائية. التأثير السلبي لزراعة البقوليات يجب أن يذكر وهو التأثير الحامضي لجذور البقوليات، وهذا يحصل في النباتات التي تثبت N_2 كونها نتيجة لفرز H^+ من الجذور. عندما يتم امتصاص كمية قليلة من النترات أو لا يتم امتصاصها، فان

H^+ يضخ إلى الرايزوسفير بوساطة المضخة البروتونية لغشاء البلازما لما ولا يعاد تدويره راجعاً إلى خلايا الجذر بوساطة الانتقال المساعد للـ H^+/nitrate ولهذا ولدرجة كبيرة البروتونات تبقى في التربة. وكنتيجة لضخ البروتون وغياب امتصاص النترات فان النباتات التي تثبت N_2 أيضا تجمع كميات كبيرة من الانيونات العضوية ويرافق ذلك امتصاص كبير للكاتيونات المعدنية وتركيز عال لها في النبات. إن كمية H^+ التي تفرزها جذور نبات الفول كانت تقريباً مكافئة لكمية القاعدية في الأجزاء العليا للنبات. بعد أن قلبت هذه الأجزاء النباتية في التربة وجد ارتفاع مكافئ لدرجة تفاعل التربة. مؤخراً درجة تفاعل التربة تنخفض نتيجة لعملية التأزت. اذا كانت النترات المتحررة قد امتصت من قبل المحاصيل فإنها مرة ثانية ترفع من درجة تفاعل التربة بسبب الانتقال المساعد للهيدروجين أثناء عملية الامتصاص. هذا المثال يوضح انه في زراعة البقوليات لا يوجد تأثير حامضي كبير مما يدل على أن بقايا النبات من سيقان وأوراق باقية في الحقل. وهذا صحيح جداً لبقوليات الحبوب ولكن ليس مع بقوليات الأعلاف، لذا فان بقوليات الأعلاف بوصف عام لها تأثير حامض قوي على التربة.

فوائد النتروجين للنبات

١. يدخل عنصر النتروجين مكوناً أساسيا للبرتوبلازم والأغشية الخلوية وفي تكوين الأحماض النووية الـ DNA وRNA ومركبات الطاقة ATP و $NADH_2$ و$NADPH_2$ وفي تكوين الأحماض الأمينية التي تعد الحجر الأساس لتكوين البروتينات ويدخل في تكوين الأنزيمات وبعض الفيتامينات ولا سيما فيتامينات B المعقدة ومنها (B_{12}وB_6 وB_2 وB_1) وفيتامين H، كما يدخل في تكوين مشتقات الأمينات مثل الكولين Choline.

٢. يشترك في تركيب مجاميع الـ Porphyrins الداخلة في تركيب الكلوروفيلات والسايتوكرومات المهمة في عمليتي التركيب الضوئي والتنفس

٣. يزيد من خضرة النبات ويشجع النمو الخضري بشكل كبير ويشكل الجزء الأساسي من البروتوبلازم

٤. ينظم عمل الهرمونات النباتية (الاوكسينات والسايتوكينات) مما يزيد من عدد انقسامات الخلايا المرستيمية فينعكس إيجابيا على حجم المجموع الخضري وإنتاج الأزهار فضلا على زيادة حجم المجموع الجذري الذي يسهم في زيادة كفاءة النبات لامتصاص المغذيات الضرورية من التربة وتمثيلها ولا سيما عنصري الفوسفور والبوتاسيوم

٥. يؤدي إلى زيادة كفاءة النبات في استهلاك الماء ومقاومة الإجهادات الخارجية وإطالة مدة النمو وتأخير الشيخوخة. ويمكن تعريف الشيخوخة بانها القصور أو التوقف الكامل عن انقسام خلايا المرستيم القمي في النبات حيث التغيرات الأيضية ذات الطابع الهدمي ينتج عنها هدم البروتينات بتفاعلات تعاكسيه لتفاعلات بنائها وان بناء البروتين يتطلب الطاقة ATP الهدم يحدث بتفاعلات تحليله تشقق فيها أواصر الببتايد بمساعدة الأنزيمات المسماة Protease والتي تعمل على البروتينات الأصلية وكذلك أنزيمات Peptidase التي تشقق الـ Poly Peptides الصغيرة إلى اصغر. والشيخوخة هي نقص بناء البروتين وفيها تختفي رايبوسومات البلاستيدات الخضراء مع زيادة عمليات نقل الأحماض الأمينية نحو المناطق الحديثة التكوين مما يؤدي إلى قلة محتوى البروتينات الذائبة في الأوعية الناقلة وتحلل المزيد من بروتينات الأوراق السفلى ولا سيما بروتين البلاستيدات الخضراء والمايتوكوندريا في السايتوبلازم، فيقل معدل التنفس فيها وتنخفض معدلات البناء في الأوراق البالغة بشكل كبير وموتها وعلى هذا الأساس فان شيخوخة أوراق الحنطة تحدث وفق نظام الشيخوخة المتعاقبة وفيه تبدأ شيخوخة الورقة السفلى الأكثر عمراً ثم تليها بقية الأوراق الأعلى منها بتعاقب منظم.

٦. كما يمكن تلخيص وظائف النتروجين الفسلجية بما يأتي:

١) يدخل في تكوين الأحماض الأمينية والنووية ومركبات الطاقة.

٢) يدخل مع المغنيسيوم في تكوين جزيئة الكلوروفيل.

٣) يدخل في بناء الأغشية الخلوية مثل غشاء البلازما والمايتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء وغشاء الفجوة

٤) يدخل في تكوين الأنزيمات والفيتامينات وخاصة فيتامين B المعقدة وفيتامينH

٥) يدخل في تكوين الاميدات مثل الاسبارجين والكلوتامين ومشتقات الأمينات مثل الكولين.

٦) يؤدي إلى زيادة كفاءة النباتات في استهلاك الماء ومقاومة الإجهادات الخارجية وتأخير الشيخوخة وإطالة عمر النبات.

النتروجين في فسلجه النبات

المادة النباتية الجافة تحتوي على ما يقرب من ٢٠-٤٤ ملغم N/كغم. هذه الكمية قليلة مقارنة بمحتوى المادة النباتية من الكاربون الذي يقرب من ٢٠٠ ملغم /كغم. على الرغم من ذلك فإن النتروجين عنصر أساسي لا غنى عنه إذ إنه يدخل في عدد من المركبات العضوية ذات الأهمية الكبيرة (الأحماض الأمينية

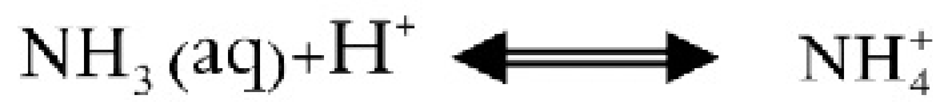
والبروتينات والأحماض النووية ومركبات ثانوية لأيض النبات مثل Alkaloids. النباتات الراقية تساهم بكميات كبيرة من النتروجين التي تتحول بصورة متعاقبة من الشكل غير العضوي إلى الشكل العضوي. المصدران المهمان غير العضويين المشاركان في هذا التحول هما NO_3^- و NH_4^+ .

الامتصاص Uptake

بشكل مغاير للعناصر الغذائية النباتية الأخرى النيتروجين يمكن يمتص على صورة كاتيون مثل NH_4^+ أو على صورة انيون مثل NO_3^- . مستوى الامتصاص لكلتا الصورتين يعتمد بشكل رئيس على جاهزية هذه الأيونات في الوسط الغذائي، وبوصف عام جزيئة واحدة من NH_4^+ قد تحل محل NO_3^- والعكس صحيح. مستويات الامتصاص تقدر بشكل رئيس بالاحتياج الفسيولوجي من النبات وليس بدرجة كبيرة فيما اذا كان المصدر كاتيون أو انيون. العديد من الأنواع تمتص مفضلة على النترات وهذه الأنواع تضم أشجار الغابات مثل *Picea abies* والحشائش. هناك أدلة بان إضافة NO_3^- يزيد من درجة تفاعل المحلول المغذي، بينما NH_4^+ لها تأثير معاكس. في المعاملة ٤ ملمول NO_3^- + ملمول NH_4^+ درجة تفاعل المحلول المغذي قد انخفضت بصورة ملحوظة بالرغم من تركيز NO_3^- كان أربعة أضعاف اكثر من تركيز NH_4^+ . وهذا دليل على افضليه امتصاص NH_4^+ . إن امتصاص NO_3^- هو بشكل رئيس NO_3^-/H^+ انتقال مساعد مع ضخ H^+ إلى خارج الخلية بوساطة الضخ البروتوني لغشاء البلازما لما الذي يعاد إلى السايتوسول بإعادة الاستعمال. لذا امتصاص النترات يكون مصحوباً بارتفاع درجة التفاعل للوسط الخارجي. مع التغذية بالأمونيوم إعادة H^+ (بالتدوير الراجع) إلى السايتوسول يكون معاقاً وان ضخ H^+ خارج الخلية يبقى بشكل رئيسي خارجاً وبهذا تنخفض درجة التفاعل. هذا يلاحظ بصورة خاصة عندما تنمو النباتات في بيئة غذائية التي بوصف عام غير منظم الهيدروجين فيها. في الترب تغير درجة التفاعل ليس كبيراً أو مذهلاً بسبب قوة الترب أو سعتها التنظيمية للهيدروجين. امتصاص NO_3^- و NH_4^- يحدث تغير كبير في درجة التفاعل لتربة الرايزوسفير وقد يصل التغيير إلى حد ٢ وحدة من قيم الـpH أعلى أو أقل على التوالي من درجة التفاعل لحجم التربة. النترات هي الصورة السائدة في معظم الترب الزراعية والصورة التي تمتصها المحاصيل اعتيادياً بكميات كبيرة مع بعض الاستثناءات مثل ترب الرز المنخفضة المغمورة بالماء التي تأقلمت لامتصاص NH_4^+ . امتصاص NH_4^+ قد يحصل بوساطة الانتشار الميسر مادام أنه يؤدي إلى عدم الاستقطاب الحاد لغشاء البلازما لما. مادام أن امتصاص NH_4^+ هو

مشابه لامتصاص K^+ الذي يحصل بوساطة الاختلاف بالجهد الكهربائي والقنوات الكاتيونية المتخصصة مع هذا الاختلاف K^+ قد يتجمع في السايتوسول إلى مستويات عالية وبمدى ١٠٠ مول /م٣.

معظم أنواع النباتات تحتاج للنيتروجين بكمية اكبر في مرحلة النمو الخضري، بينما في طور الإنتاج فان معدلات امتصاص N من قبل الجذور تكون واطئة، وان إعادة نقل النيتروجين العضوي وتوزيعه، تكون عاليةً. أيضا معدل امتصاص النترات يعتمد على حالة النبات من الطاقة. وبشكل مغاير للأمونيوم، النترات يمكن أن تنقل بمعدلات عالية إلى أجزاء النبات العليا ويمكن أن تخزن بتراكيز عالية في فجوة الخلية. أن الفرق المهم بين امتصاص NO_3^- و NH_4^+ هو حساسية كل منها للرقم الهيدروجيني. اعلى امتصاص لـ NH_4 وأفضله يحصل في الوسط المتعادل ويقل الامتصاص بانخفاض الرقم الهيدروجيني. العكس صحيح مع NO_3^-. الامتصاص العالي يحصل عند الرقم الهيدروجيني الواطئ بسبب جاهزية كمية اكبر من البروتونات لبروتون الانتقال المساعد للنترات. عند المستويات الواطئة لدرجة تفاعل المحاليل المغذية التي سببها التغذية بالأمونيوم يثبط نمو الجذور في الكثير من الأحيان، الأمونيوم في المحلول يمكن أن يكون ساما لنمو النبات. السمية تنتج بصورة رئيسة من الأمونيا التي تؤثر في نمو النبات وفعالياته الحيوية تحت التراكيز الواطئة التي يكون عندها NH_4 غير مضر. توزيع NH_4 و NH_3 في المحاليل المائية موضح في العلاقة المتوازنة الآتية:



$$NH_3\,(aq) + H^+ \longleftrightarrow NH_4^+$$



$$NH_3\,(aq) = NH_3 \text{ dissolved in water}$$

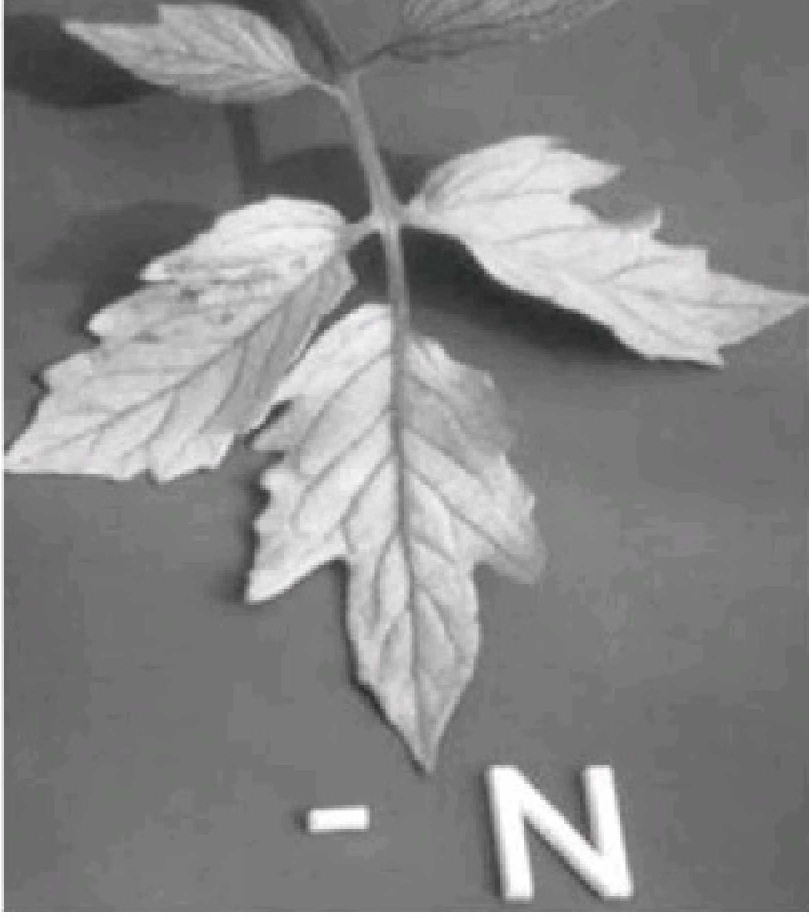
هذه المعادلة توضح بان تركيز NH_3 (المحلول المائي) يعتمد بصورة كبيرة على الرقم الهيدروجين للوسط وانه عند pH اقل من ٦ فإن كل NH_3 تكتسب بروتون. إن NH_4^+ تتحول إلى NH_3 عند درجة التفاعل العالية وان هذا يمكن أن يكون سأما جداً. إن سمية NH_4-N لهذا تعتمد بدرجة كبيرة على درجة التفاعل ولاسيما على pH الـ apoplast التي تنظم بدرجة كبيرة بضخ H^+ (H^+pumps). هذا النشاط لضخ H^+ لربما هو المسيطر في حساسية أنواع مختلفة من النباتات لسمية NH_3.

الانتقال Translocation

النتروجين الممتص بوساطة جذور النبات ينتقل في أنسجة الخشب إلى أجزاء النبات العليا. الشكل الذي ينتقل به النتروجين يعتمد على مصدر النتروجين الممتص وفعاليات الجذور الحيوية. الأمونيوم التي تمتص من قبل الجذور تقريباً تمثل بشكل كامل في انسجه الجذر وان N ينتقل بدرجة كبيرة وعلى شكل أحماض

أمينية إلى أجزاء النبات العليا. في أنواع البقوليات المثبتة لـ N_2 في المناخ المعتدل، فان الـ glutamine والـ asparagine هي مركبات النيتروجين الرئيسة التي تنتقل من العقد الجذرية بوساطة الخشب إلى أجزاء النبات العليا، بينما أنواع البقوليات في المناخ الاستوائي فان هذا الدور يظهر بوساطة allantoic acide,allantoin. النيتروجين على شكل NO_3 ينتقل بدون تغيير إلى الأجزاء العليا والأوراق ولكن هذا يعتمد على مقدرة الجذور في اختزال النترات، لذا فإن النترات والأحماض الأمينية هما الشكلان الرئيسان اللذان ينتقل بهما النتروجين في النظام الوعائي للنباتات الراقية. في عصير الخشب بصورة عامة ٧٠٪ إلى ٨٠٪ من الأحماض الأمينية الموجودة غنية بالنتروجين ونسبة النتروجين إلى الكربون أكثر من ٤ ,.لقد اعتقد بأن وظيفية هذه الجزئيات الغنية بالنتروجين (asparagine ,Glutamine) هو لنقل النتروجين مع كمية قليلة من الكاربون (الحد الأدنى) في اللحاء الأحماض الأمينية هي الصورة السائدة من النيتروجين الذي ينتقل وبتراكيز اعلى كثيراً مما هو عليه في الخشب. النترات يمكن تتواجد ولكن فقط بتراكيز واطئة جداً. للعديد من أنواع النباتات التي في أجزائها العليا يسود تمثيل النترات، فان انتقال الأحماض الأمينية بوساطة اللحاء من الأجزاء العليا إلى الجذور هو ضروي لتغطية احتياج جذور النبات من النيتروجين. هذا الانتقال للأحماض الأمينية في اللحاء يمكن أيضا يعمل بوصفه إشارة للتغذية الراجعة (Feedback signal) للسيطرة على امتصاص النترات. عندما النباتات تنمو بسرعة وهناك طلب كبير من قبل الأجزاء العليا للنبات على النيتروجين، فإن جزءاً صغيراً من النيتروجين يدور راجعاً (Cycled Back) إلى الجذور بشكل أحماض أمينية. عندما يكون طلب الأجزاء العليا للنبات واطئاً فهناك زيادة نسبية في تدوير N في اللحاء مما يكبح امتصاص N وانتقاله. أن التغذية بالأحماض الأمينية بوساطة بادرات فول الصويا ذوات الفلقتين ينتج عنه زيادة في تراكيز الأحماض الأمينية في عصير اللحاء وانخفاض في امتصاص NO_3 بوساطة الجذور. انتقال النتروجين هي عملية مهمة في حياة النبات. الأوراق حديثة التكوين تجهز بالأحماض الأمينية لكي تصل إلى الحد الذي يتكامل به النمو. عندما يكون تجهيز النتروجين من قبل الجذور غير مناسب، فإن النتروجين في الأوراق القديمة يستغل في تغذية أجزاء النبات الحديثة التكوين. لذا فإن أعراض نقص النتروجين تظهر أولاً في الأوراق القديمة وذلك في النباتات التي تعاني من نقص في النتروجين. في هذه الأوراق القديمة البروتين يتحلل إلى أحماض أمينية (Proteolysis) والأحماض الأمينية الناتجة يعاد توزيعها إلى النهايات والأوراق الحديثة التكوين. التحلل

البروتيني (Proteolysis) ينتج عنه تهدم البلاستيدات الخضراء وكذلك تناقص في محتوى الكلوروفيل. اصفرار الأوراق القديمة هي الأعراض الأولى للتغذية غير الكاملة بالنتروجين.



أعراض نقص النتروجين

١. يبقى النبات قصير وصغير وضعيف
٢. السيقان طويلة ورفيعة
٣. الأوراق القديمة تتساقط قبل الأوان
٤. لا تحصل تفرعات للجذور
٥. تتلون الأوراق بالأصفر على جميع الورقة
٦. موت موضعي لأنسجة الورقة

أعراض نقصه على الأشجار تظهر أولا على الأوراق المتقدمة في العمر فتصبح شاحبة صفراء اللون، وفي حالات النقص الشديد فان الأوراق الحديثة تصبح شاحبة اللون أيضا وتبدأ الأوراق المتقدمة بالعمر في التساقط، إضافة إلى تحديد النمو وقلة نسبة المجموع الخضري إلى المجموع الجذري، وقلة استطالة الأغصان وحجم الثمار ولونها، إضافة إلى صغر حجم الأوراق وانخفاض محتواها من الكلوروفيل مما يسبب انخفاض معدل عملية التمثيل الضوئي وبالتالي انخفاض كمية الكربوهيدرات المصنعة في الأوراق، كما تتأثر الثمار بنقص هذا العنصر فتبدو صغيرة الحجم، وتظهر أعراض نقص هذا العنصر على الأجزاء الأخرى للشجرة كالأفرع فتبدو ضعيفة النمو وينخفض عدد البراعم الزهرية المتكونة عليها، ويصبح حمل الأشجار من الثمار غير منتظم.

علاج نقص النيتروجين

إضافة اليوريا أو كبريتات أو نترات الأمونيوم إلى التربة مع مياه الري أو عن طريق الرش على الجزء الخضري

أعراض زيادة النتروجين

تؤدي زيادة النتروجين في التربة عن احتياج النبات إلى نمو خضري زائد يمكن أن يؤدي إلى:

١. تأخر النضج: حيث يستمر ويتأخر النضج ويتعرض النبات للأخطار (لفحة في الحبوب) محتوى قليل من السكر في الشمندر السكري والثمار.

٢. حساسية أشد للأمراض: حيث تكون النسج النباتية رهيفة وجدر الخلايا رقيقة فتصبح أسهل اختراقاً من قبل الفطريات الممرضة كما أن غنى العصارة النباتية بالنتروجين يسمح بتغذية أفضل لجراثيم الفطر فتتكاثر بسرعة وتكون الإصابة أكبر وأشد تأثيراً.

٣. ميل أكبر للرقاد: حيث تكون السوق أقل صلابة ويسبب النمو الزائد للأوراق حجب الضوء عن قاعدة الساق فتميل ويحدث رقاد (ضجعان) الحبوب نتيجة اختلال التوازن بين الجلوسيدات والنتروجين إذ أن كل ما يعد من تمثيل الجلوسيدات وخاصة نقص أشعة الشمس يشجع الرقاد.

إضافة السماد النيتروجين وإنتاج المحصول

هناك اتفاق عام على أن من بين العناصر الغذائية المضافة إلى التربة تكون إضافة الأسمدة النيتروجينية هي الأكثر أهمية في تأثيرها في زيادة الحاصل. هذه حقيقة لمختلف المحاصيل النامية تحت ظروف مختلفة وفي مناطق مختلفة من العالم. في محاصيل الحبوب كمثال وبدراسة على مستوى العالم هناك علاقة وثيقة جداً بين حاصل الحبوب/ هكتار وبين معدل مستوى السماد النيتروجيني المضاف في كل دولة عندما يكون هناك إضافة اقل من ١٦٠ كغم N/ هكتار.عدة تجارب حقلية جرت على أتربة مختلفة أكدت بان النتروجين هو العنصر المحدد والمهم في نمو النباتات.

الاستجابة لإضافة النتروجين

على الرغم من استجابة المحاصيل للأسمدة النيتروجينية، فإن هذه الحالة لا تحصل دائماً. الاستجابة للنتروجين تعتمد على ظروف التربة ونوعية المحصول، وبالأساس على كمية النيتروجين الجاهز في التربة وعلى كمية النيتروجين التي ستصبح جاهزة أثناء مدة نمو النبات. اذا أخذنا التربة بنظر الاعتبار تكون الاستجابة للنتروجين المضاف واطئة عندما يكون محتوى التربة من النتروجين عاليا. عند عدم وجود الاستجابة فان بقايا النتروجين مع معدل تحرر النتروجين من المادة العضوية المتحللة بوساطة الكائنات الحية الدقيقة أو كل منهما على حدة يكون من المحتمل مناسباً لتلبية طلب المحصول من النتروجين. معدلات التحرر العالي لنتروجين التربة أيضا من الممكن توقعها إذا قلب نبات Grass Sward في التربة. الحالة هذه تكون صحيحة أيضا بالنسبة للمحاصيل التي تزرع بعد المحاصيل البقولية في الدورة الزراعية. في كل هذين المثالين تكون إضافة النتروجين غير ضرورية. زراعة الترب في الخط المطري الاستوائي أيضا ينتج عنها تحرر عال لنتروجين التربة في السنين الأولى من الزراعة، إذ أنه أثناء هذه المدة لا تستجيب الترب لإضافات النتروجين. في السنين التي تعقب ذلك تكون الحاجة متزايدة للنتروجين إذ إن النتروجين العضوي في التربة

يبدأ تدريجياً بالنفوذ. صرف الترب العضوية قد يقود إلى معدنة النيتروجين العضوي بصورة كبيرة. ومن اجل زيادة مقدرة هذه الترب العضوية على الاحتفاظ بالعناصر الغذائية فان مستوى الماء الأرضي قد خفض من ٢٥ سم إلى ٧٥ سم اسفل سطح التربة. وهذا أدى إلى معدنة ١٠٠٠ كغم N / هكتار تقريباً نصفه قد امتصته النباتات العشبية والنصف الباقي قد غسل أو فقد على شكل غازات بعملية الـ Denitrification. في معظم الحالات تكون معرفة جهد محصلة معدنة النتروجين ذات حد حرج وإن الطريقة المناسبة لتقدير النيتروجين المعدني الجاهز ومحصلة معدنة النيتروجين أثناء نمو المحصول لا زلنا بحاجة لها. محصلة معدنة النيتروجين في مختلف حقول الفلاحين المزروعة بمحاصيل الحبوب الشتوية لعدة سنوات، ووجد في الحقول التي فيها حيوانات الماشية كمية مضافة من النيتروجين المعدن تقدر بـ ٢٠ كغم N/ هكتار للمحاصيل (Precrop) البنجر السكري والبطاطا والـ Rape والتربة المتروكة (Fallow) لموسم بدون زراعة ٣٠ كغم N/ هكتار وللحقول التي تزرع بالخضراوات الحقلية كمية إضافية تقدر بـ٥٠ كغم N/ هكتار تنتج من معدنة النيتروجين قد أخذت بنظر الاعتبار. هذا المثال يوضح بان لمعرفة مستوى السماد النيتروجيني بصورة دقيقة لمحاصيل الحبوب الشتوية، فان نظام الزراعة المعتمد قبل زراعة هذه المحاصيل كان له أهمية كبيرة أكثر من صفات التربة الأخرى مثل النسجة، درجة تفاعل التربة. الاستهلاك الأمثل للسماد النيتروجيني يتوصل إليه فقط عندما تكون العناصر الغذائية الأخرى لا تحد من النمو كما لوحظ مع K وP في تجارب حقلية قديمة بدون إضافة P وK كان مستوى الاستجابة لمستوى النتروجين المضاف المتزايد قليلاً مقارنة بمستوى الاستجابة عند إضافة كميات مناسبة من P وK. إن العامل الأهم الذي يسيطر على تأثير السماد النيتروجيني في المحاصيل هو التجهيز بالماء. نقص النيتروجين يثبط تمدد الورقة، وعدد الأوراق وعدد التفرعات وبهذا يقلل من دليل مساحة الورقة. عندما يكون التجهيز بالماء غير كافٍ فإن السماد النيتروجيني يؤخذ من قبل المحصول بكمية غير ملائمة وان بعضاً منه قد يفقد على شكل غازات بعملية الـ Denitrification والكفاءة في استخدام السماد النيتروجيني قد تحسنت بظهور الأصناف الجديدة. الكفاءة الفيسيولوجية العالية للنيتروجين المستخدم في محاصيل الحبوب يمكن الحصول عليها عندما تكون كمية كبيرة من النيتروجين الممتص تستخدم في ملء الحبوب وتكوينها. لإنتاج طن واحد من حبوب الحنطة يستلزم ٣٠ كغم نيتروجين ١٨ كغم متواجدة في الحبوب و٦ كغم في الجذور و٦ كغم في التبن الكفاءة الفسيولوجية العالية تحصل عندما ينتج ٣٣ كغم حبوب لكل كيلو غرام نيتروجين ممتص من قبل المحصول.

معدلات إضافة الأسمدة النيتروجينية

مستوى النتروجين يضاف إلى المحصول يعتمد بصورة كبيرة على نوعية المحصول وظروف التربة ولا سيما النيتروجين الجاهز في التربة. بصورة عامة كمية النتروجين الممتصة من قبل المحصول الجيد أثناء مدة النمو يمكن أن يستفاد منها بوصفها مؤشراً في تعيين المعدل المناسب للنتروجين المراد إضافته (كغم نتروجين/ هكتار). بصورة عامة عندما يكون معدل تحرر النتروجين غير العضوي من المادة العضوية للتربة عالياً يضاف معدلات واطئة من النتروجين، ومن ناحية أخرى في الأتربة الفقيرة بالنتروجين فان معدل النتروجين المضاف يجب أن يكون اعلى من الكمية الكلية للنتروجين الممتص. إضافة القش إلى التربة بصورة عامة يزيد من عدم تحلل الأسمدة النيتروجينية (immobilization) وهذا في اكثر الأحيان يؤدي إلى قلة الحاصل. ولكن هذا التأثير يمكن التغلب عليه بإضافة كمية أخرى إضافية من النيتروجين وتقرب من ١٠ كغم لكل ميغا غرام قش أضيف. في ترب الحقول المعدة لزراعة الرز إضافة القش إلى التربة لم يؤثر في حاصل الرز. من حيث التخطيط البعيد المدى فان النتروجين المستهلك من النبات والمفقود بعملية الغسيل والمفقود من التربة على شكل غازات يوازن وذلك بإضافة الأسمدة النيتروجينية. كميات كبيرة من النيتروجين تثبت بوساطة مجموعة النبات البقولي والكائنات الحية الدقيقة من نوع (Rhizobium) لهذا السبب فان البقوليات مثل الجت والنفل اعتيادياً وفي اكثر الأحيان لا تسمد بالنتروجين بالأحرى إضافة النتروجين لمثل هذه النباتات يقلل من الحاصل وذلك لأن الأسمدة النيتروجينية توقف من عملية تثبيت النتروجين وتزيد من نمو الأدغال. وفي مجموعة الحشائش والبقوليات إضافة النتروجين تحفز نمو الحشائش التي تنافس البقوليات على العناصر الغذائية وعوامل النمو الأخرى. لهذا السبب فإن المروج التي تحتوي على الحشائش مع النفل يجب أن لا تعامل بالأسمدة النيتروجينية اذا كانت نسبة البقوليات في المرج ملائمة لتلبية احتياجات المرج. عندما تكون نسبة البقوليات في المرج قليلة فانه يوصى بإضافة الأسمدة النيتروجينية. الإضافات المفرطة من النتروجين ربما تكون مؤذية للمحاصيل. المستوى العالي من النتروجين المضاف أثناء الأشهر الأخيرة من دورة نمو نبات البنجر السكري أدى إلى التقليل من نوعية جذور هذا النبات. بالنسبة لمحاصيل الحبوب ربما يحدث الاضطجاع. النتروجين المضاف بصورة مفرطة يحفز ظهور أمراض فطرية على النباتات، مثال على هذا النوع من الأمراض هو brown rust (*Puccinia hordei*) على الشعير وbrown leaf spot (*Helminthosporinm oryzae*) على الرز ومرض (*Fusarium graminearm*) على الحنطة. المرض يكون قاسياً ولا سيما عندما تكون كميات K

و P المجهزة للنبات واطئة. من جهة أخرى هناك مرضان فطريان على نبات الذرة الصفراء يقل ظهورها بكميات النتروجين العالية المضافة وهذان المرضان هما *Pseudomonas syringae* (chocolate spot) و *Helminthosporium turcicum* (corn leaf blight, Northern).

الأسمدة النيتروجينية Nitrogen Fertilizers

الأسمدة النيتروجينية الرئيسة المعروفة موجودة في الجدول (١٨). اكثر الأسمدة النيتروجينية تكون النترات والأمونيوم هي حوامل النيتروجين ولا تنطبق هذه الحالة فقط على الأسمدة النيتروجينية الحاوية على النيتروجين كأساس بل أيضا على الأسمدة المركبة والمخلوطة. الأمونيوم يدمص جزئياً إلى غرويات التربة ويكون معدل امتصاصه اقل من معدل امتصاص النترات تحت الظروف الحقلية، ولهذا السبب فإن اكثر المحاصيل لا تكن استجابتها للأسمدة الحاوية على الأمونيوم كما هو مع النترات المضافة. الأسمدة النيتروجينية الحاوية على النترات معروفة باستجابة النبات السريعة لها. في اكثر الحالات يلعب الفرق بين الأسمدة النيتروجينية الحاوية على الأمونيوم والحاوية على النترات دوراً ثانوياً فقط. ولا توجد أية فروق رئيسة في استجابة الحاصل لإضافة النترات أو لإضافة الأمونيوم. ففي الأتربة الكثيرة الحموضة يكون تأثير النترات في الحاصل افضل فقط.

الأسمدة الحاوية على الأمونيوم لا تمزج مع الأسمدة الكلسية ومثال ذلك كبريتات الأمونيوم مع $CaCO_3$ مادامت درجة التفاعل القاعدية الناتجة تقود إلى فقدان NH_4^+ للبروتونات وان NH_4^+ قد تحررت. كميات كبيرة من الأمونيا ربما تفقد في الترب القاعدية والكلسية من تطاير الأمونيا. لقد كانت كبريتات الأمونيوم من الأسمدة المهمة ولكن استهلاكها قد قل في الوقت الحاضر واستبدلت لدرجة ما باليوريا التي محتواها من النتروجين اعلى من محتوى كبريتات الأمونيوم وكذلك سهولة العمل مع اليوريا عندما تكون بصورة محلول. نترات الأمونيوم ملح سريع الانفجار ولهذا السبب فلقد منع استعماله كسماد في بعض الدول، وانه يستعمل الآن في اكثر الأحيان في تصنيع الأسمدة السائلة. نظرا لمخاطر الحريق مع هذا السماد فانه قد يخلط في بعض الأحيان مع مادة الجير (Limestone) وهذا المخلوط يكون أميناً وسهل النقل ويسمى بالـ (Nitrochalk). من المعرف في الأسمدة النيتروجينية الأحادية (Straight) بأن احتواءها على مادة الجير تمنع تحميض (Acidification) التربة أو تؤخره. السماد كلوريد الأمونيوم من الأسمدة الثانوية من حيث الأهمية، هذا السماد يكون ملائماً لترب حقول الرز، لأن

استعمال كبريتات الأمونيوم يؤدي إلى تكون الكبريتيد المادة غير المرغوب فيها. إن سماد كبريتات النترات والأمونيوم هو ملح ثنائي من نترات الأمونيوم وكبريتات الأمونيوم ويصنع بمعادلة (Neutralize) حامض النتريك وحامض الكبريتيك بالأمونيا ويكون سهل النقل والخزن ولكن استعماله قد قل في الوقت الحاضر.

الجدول ١٨: أسمدة النيتروجين الرئيسة

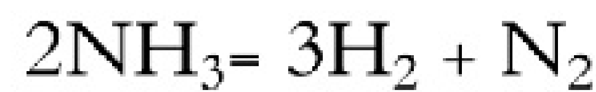
السماد	الرمز الكيمياوي	N %
كبريتات الأمونيوم	$(NH_4)_2\ SO_4$	٢١
كلوريد الأمونيوم	NH_4Cl	٢٦
نترات الأمونيوم	NH_4NO_3	٣٥
كبريات النترات والأمونيوم	$NH_4\ NO_3\ (NH_4)_2\ SO_4$	٢٦
نترات البوتاسيوم	KNO_3	١٤
اليوريا	$CO(NH_2)_2$	٤٦
سيناميد الكالسيوم	$Ca\ CN_2$	٢١
الأمونيا غير المائية	NH_3	٨٢

نترات البوتاسيوم هذا السماد كثيراً ما يرش على النباتات بدلاً من إضافته إلى التربة. هذه الحالة أيضا صحيحة مع اليوريا التي تستعمل بدرجة كبيرة في الأسمدة السائلة. سيناميد الكالسيوم يحتوي على النتروجين على شكل أميد (Amide) وعلى شكل سيانيد (Cyanide) وهذا السماد ذو لون داكن وذلك لاحتوائه على الكاربون الذي يتكون أثناء عملية التصنيع. سيناميد الكالسيوم سهل الذوبان بالماء ويلاحظ تحوله إلى يوريا في التربة التي بدورها بعد ذلك تنفصل إلى أمونيا وثاني أوكسيد الكربون. إن تحول سيناميد الكالسيوم في التربة يحتاج إلى الماء ولذا فإن استجابة النباتات لسيناميد الكالسيوم المضاف تتأخر في ظروف الترب الجافة. أثناء عملية التحول هذه في التربة تتكون نواتج وسطية سامة. بوصف عام سيناميد الكالسيوم يضاف قبل البذار ويمزج بصورة جيدة في التربة. المواد الوسطية السامة الناتجة هي جيدة لقتل الأدغال ولإيقاف عملية التأزت. السيناميد سماد نيتروجيني بطيء التفاعل. مادة

Dicyandiamide المتكونة أثناء تحلل سيناميد الكالسيوم تثبط عملية تكون الأمونيوم من اليوريا وأيضا أكسدة NH_3 مادامت مثبطة لعملية التأزت. تأثير N العائد لسيناميد الكالسيوم بذلك يتأخر، وأثناء عملية التحول تتكون أيضا مادة $Ca(OH)_2$ التي تكون ظروف تأثيرها، في درجة تفاعل التربة وتركيب التربة، المثلى في الترب الحامضية.

إضافة الأمونيا غير المائية، السبب الذي يقف عائقاً أمام استعمال هذا السماد ذي المحتوى العالي من النتروجين هو احتياج عملية إضافته ونقله إلى أجهزة وأدوات خاصة. إن عدداً من التجارب الحقلية أكدت بان الأمونيا غير المائية تعطي استجابة مماثلة لاستجابة النبات للأسمدة الصلبة، في الأترية ذات النسجة الثقيلة وتحت الظروف القارية (Continental) يمكن إضافة الأمونيا غير المائية في الخريف بدون حصول أي فقد في النتروجين عن طريق عملية الغسيل في هذه الأترية فقط يحصل الفقد بالغسل عند التأكسد الأمونيا إلى نترات بدرجة كبيرة هذه الأكسدة بوساطة الكائنات الحية الدقيقة تعتمد على درجة حرارة التربة في الخريف والشتاء. تحت الظروف المناخية للشتاء المعتدل والأمطار الغزيرة تؤدي إضافة الأمونيا غير المائية أو غيرها من الأسمدة الحاوية على الأمونيوم إلى الفقد الكبير بالنتروجين وذلك عن طريق عملية غسل النترات. إن هذا الفقد للنتروجين أثناء الشتاء ربما هو السبب الذي أدى إلى إعطاء حاصل قليل بعد إضافة الأمونيا غير المائية في الخريف مقارنة بالحاصل الناتج عند إضافة هذا السماد في الربيع.

أساس كل الأسمدة النيتروجينية المصنعة هو الأمونيا ومنه تصنع الأنواع الأخرى، ويعتمد إنتاج الأمونيا على الطاقة والضغط، حيث يتفاعل النيتروجين والهيدروجين في درجة حرارة تتراوح بين ٤٠٠-٥٠٠ درجة مئوية وضغط ١٧٠ جوي ووجود عامل مساعد وحسب المعادلة التالية



$$2NH_3 = 3H_2 + N_2$$

ثم تحول الأمونيا إلى الأنواع المختلفة من الأسمدة وذلك بتفاعل الأمونيا مع المركبات الأخرى لتكوين المركب السمادي المطلوب كالآتي



حساب النتروجين في السماد

مثلا سماد اليوريا $(NH_2)_2CO_2$ يحتوي على ٤٦% نيتروجين

حساب النيتروجين الموجود في اليوريا

الكربون(C)=١٢ X ١ = ١٢

الأوكسجين(O)= ١٦ X ١ = ١٦

النيتروجين(N)=١٤ X ٢ = ٢٨

الهيدروجين(H)= ١ X ٤ = ٤

اذا الوزن الجزيئي لليوريا = ٦٠

النسبة المئوية للنيتروجين في سماد اليوريا ٢٨*١٠٠/٦٠ = ٤٦

لذلك لا يمكن أن تحتوي اليوريا على أكثر من ٤٦% نيتروجين

ملحوظات حول التسميد النتروجيني

١. تضاف مباشرة وبطرق متعددة وفقا لطبيعة السماد والظروف الجوية وخصائص التربة

٢. يفضل أن تخلط الأسمدة بالتربة عند الإضافة نثرا

٣. تضاف على شكل دفعات

٤. يفضل أن تضاف قبل الزراعة بفترة قصيرة

٥. لا يفضل خلط الأسمدة وإضافتها مع البذور

٦. كمية الأسمدة النيتروجينية تتراوح بين ٢٠-٢٠٠ كغم. هكتار$^{-١}$ سنويا.

سماد اليوريا

يتبع سماد اليوريا، الإميدات(NH_2) وهو عبارة عن حبيبات لؤلؤية بيضاء يتراوح قطرها ما بين ٢-٣ ملليمتر ذات كثافة منخفضة تحتوي على نسبة ٤٦% من النتروجين وتركيبها الكيماوي $(NH_2)_2CO_2$ وهو السماد النتروجيني الأعلى تركيزاً ولقد انتشر استخدامه في الزراعة منذ وقت طويل لرخص سعر وحدة النتروجين فيها.

إن سماد اليوريا يذوب بأكمله في التربة ويتحول بسرعة في التربة النشيطة بيولوجيا إلى نتروجين أمونياكي ثم إلى نتروجين نتراتي صالح لامتصاص النبات.

00:06:06

تحولات اليوريا في التربة

تتحول اليوريا في التربة إلى كربونات الأمونيوم بفعل أنزيم اليوريز الذي ينتج عنه نشاط جيد لبكتريا التربة ومحتوى كاف من الدبال ويتم هذه التحول:

- خلال ٢-٣ أيام في الأتربة الغنية بالمادة العضوية.
- خلال ٧-٨ أيام في الأتربة الفقيرة بالمادة العضوية.

ويتأثر تحليل اليوريا في التربة بالعوامل التالية:

أ- قوام التربة: يكون التحلل سريعاً وكاملاً في الأتربة الخفيفة ومتوسطة القوام ويكون التحلل أبطأ في الأتربة الثقيلة ويستغرق زمناً أطول نتيجة لسوء تهوية التربة.

ب- رطوبة التربة: تتم أعلى نسبة لتحلل اليوريا عندما تكون رطوبة التربة عند السعة الحقلية وكان التحلل في إحدى التجارب على النحو التالي:

رطوبة التربة عند السعة الحقلية: تحلل كامل كمية اليوريا المضافة خلال ٣ أيام.

رطوبة التربة عند ٢/١ السعة الحقلية: تحلل كامل كمية اليوريا المضافة خلال ٣ أيام.

التربة جافة هوائياً: تحلل ٦٥% من اليوريا المضافة خلال ١٤ يوم.

ج- نسبة كربونات الكالسيوم: كلما كانت نسبة كربونات الكالسيوم في التربة عالية كلما كان تحلل اليوريا أبطأ ويستغرق زمناً أطول.

د- المادة العضوية: كلما ازداد محتوى التربة من المادة العضوية وبالتالي الدبال كلما ازدادت سرعة تحول اليوريا في التربة.

هـ- حرارة التربة: إن أفضل درجة حرارة التربة لتحول اليوريا بين ٢٦-٤٠ درجة مئوية. ويعني ذلك أن تحول اليوريا في الصيف يتم بصورة أسرع من تحولها في الشتاء ولقد وجد أن اليوريا تتحول تماما خلال الأيام الستة الأولى لإضافتها إذا كانت درجة الحرارة ١٧ درجة مئوية.

و- كمية اليوريا المضافة: كلما كانت كمية اليوريا المضافة أكبر كلما كان تحللها أبطأ.

سلوك سماد اليوريا في التربة

تعتبر اليوريا مصدراً ممتازاً للنتروجين إذا استخدمت بشكل دقيق ويذوب سماد اليوريا تماما في الماء وثمة احتمال لغسيلها في الأراضي الخفيفة والرملية الفقيرة بالمادة العضوية لأنها لا تمسك على مقعد الإدمصاص وتشبه في ذلك حذر النترات الموجود في الأسمدة النتراتية أو النتراتية النشادرية.

00:06:08

وتنتشر اليوريا بسرعة كبيرة في كامل الطبقة المقلوبة من التربة إذا توفرت الرطوبة الكافية لذوبانها وتتحول خلال بضعة أيام إلى أمونيا ويدمص جذر الأمونيا مؤقتاً الصالح للامتصاص بواسطة جذور النبات.

ينتج عن المرحلة الأولى من تحلل اليوريا في التربة تراكم مؤقت لغاز الأمونيا وبالتالي ارتفاع مؤقت لدرجة تفاعل التربة ولفترة بسيطة فإذا تم خلط اليوريا مع التربة أثناء عملية الفلاحة الأخيرة فإن معظم الأمونيا المنطلقة تبقى في التربة على شكل شوادر الأمونيوم NH_4 موجبة الشحنة الكهربائية التي تدمص على سطوح معقد الإدمصاص سالب الشحنة الكهربائية وتصبح ذات قيمة عظيمة لاستعمال المحصول لأن جذور النباتات يمكن أن تمتص النتروجين على صورة جذر النترات NH_2 و NO_2 و NO_3 ومن الناحية البيولوجية فإن زيادة تركيز غاز الأمونيا والارتفاع المؤقت لدرجة تفاعل التربة حول موضع حبيبات اليوريا تشكل منطقة سامة يمكن أن تؤثر على البذور خلال الإنبات وعلى جذور البادرات الصغيرة ولكن نادراً ما يحدث هذا التأثير إذا كانت حبيبات اليوريا موزعة على كامل مساحة التربة ومطمورة جيداً وكانت ظروف التربة جيدة من حيث التهوية والحرارة والرطوبة والنشاط الحيوي حيث تلعب الكائنات الحية الدقيقة دوراً هاما في تثبيت غاز الأمونيا المنطلق في المرحلة الأولى من تحلل اليوريا.

البيوريت تتشكل مادة البيوريت أثناء عملية تصنيع اليوريا نتيجة ارتفاع درجات الحرارة ومن المعلوم أن تصنيع اليوريا يتم من تفاعل غاز ثاني أكسيد الكاربون مع الأمونيا حيث تبلغ انصهارها ١٣٢.٧ درجة مئوية أما في درجة حرارة أعلى أثناء التفاعل ١٤٠-١٧٠ درجة مئوية فتتشكل مادة البيوريت. وقد يتشكل جزء من البيوريت على درجات حرارة أقل أثناء التصنيع كما يمكن أن تتشكل عند تسخين محاليل مائية من اليوريا إلى درجة حرارة أعلى من ٥٠ درجة مئوية.

وتعتبر مادة البيبوريت سامة لنباتات المحاصيل إذا زاد تركيزها في التربة ويعتمد تأثيرها على العوامل التالية:

- نسبة البيوريت في سماد اليوريا
- نوع المحصول وعمره
- معدل إضافة سماد اليوريا
- مكان وضع البذور في التربة

ويجب أن يبقى ماثلاً أن تسمم النبات الناتج عن مسبب ما قد يحسب على أنه ناتج عن البيوريت.

كانت اليوريا المصنعة خلال الأربعينات والخمسينات من هذا القرن تحتوي على مستويات مرتفعة من البيوريت تصل إلى نسبة ٥.٥-٥% لذا يجب ألا نستغرب إذا قرأنا تقارير منشورة في تلك الفترة تتحدث

عن سمية اليوريا للنباتات، أما في هذه الأيام فإن تطور طرق تصنيع اليوريا يسمح بإنتاج سماد اليوريا في حمص يحتوي على نسبة ٠.٩% فقط من البيوريت ومع ذلك لايزال السؤال عن مستويات البيوريت السامة للنبات قائماً؟..

تمتص جذور النباتات مادة البيوريت (وكذلك الأوراق في حال رش اليوريا على المجموع الخضري) لكن تمثيلها يتم ببطء شديد،

تتحلل مادة البيوريت في التربة ببطء أكبر من تحلل اليوريا وتحتاج إلى وقت أطول ولقد قام عدد من الباحثين بوصف الأعراض المميزة للتسمم بالبيوريت على عدد من النباتات وتختلف هذه الأعراض من نبات إلى أخر.

الحمضيات: اصفرار قمم الأوراق ثم موت الأوراق من القمة باتجاه القاعدة.

الذرة: يعاق النمو وتبدو السوق مضغوطة والأوراق مصفرة وحوافها مقطعة.

بشكل عام: تصاب الأوراق بالاصفرار والتبقع ويمكن أن يكون الاصفرار بين العروق أو على حواف الأوراق.

ويمكن إيجاز هذا الموضوع بأن استخدام اليوريا لا يعتبر خطراً على النباتات إذا كانت الكمية المضافة من البيوريت لا تزيد عن ٢ كيلو غرام للهكتار الواحد في الدفعة الواحدة من الإضافة أي أن الحد الأقصى المسموح باستخدامه من اليوريا في الإضافة الواحدة هو ٢٢٢ كلغم/هـ وتسمح الفترة الزمنية الواقعة بين إضافتين لسماد اليوريا بتحلل مادة البيوريت وتفككها وبالتالي فإنه لا يوجد أثر تراكمي لمادة البيوريت سواء في النبات أو التربة.

التسميد الورقي بسماد اليوريا تستخدم اليوريا سواء عن طريق التربة أو عن طريق رش المجموع الخضري بمحاليل تحتوي على اليوريا وإن كميات النتروجين التي يمكن إضافتها رشاً وبشكل مضمون وأمين النتائج محدودة جداً وتختلف تبعاً لدرجة احتمال المجموع الخضري لتراكيز اليوريا في محاليل الرش، وقد درس درجة احتمال المجاميع الخضرية لتراكيز اليوريا ويبين الجدول التالي احتمال نباتات عديدة لتراكيز اليوريا في محلول الرش.وتدل دراسة الأرقام الواردة في الجدول (١٩) على وجود اختلافات واسعة في درجة احتمال المجاميع الخضرية للنباتات المختلفة لتراكيز اليوريا في محاليل الرش وتعتبر المعلومات السابقة دليلاً قيماً لدى استعمال الأسمدة الورقية المحتوية على سماد اليوريا. إن نباتات المحاصيل أكثر حساسية لمادة البيوريت في اليوريا المضافة رشاً على الأوراق بالمقارنة مع اليوريا المضافة عن طريق التربة، وتبدي أشجار الحمضيات

حساسية زائدة للبيوريت في محاليل الرش المحتوية على اليوريا ويقول بعض الباحثين أن اليوريا محتوية على ٠.٢٥% من البيوريت يجب ألا ترش على أوراق الحمضيات. بينما وجد أن محاليل الرش الورقي المحتوية على ١٥٠ جزء بالمليون من البيوريت قد استعملت دون ضرر على أشجار العنب والكمثرى ووصل التركيز الذي تتحمله أشجار الدراق إلى ٤٠٠ جزء بالمليون أما نبات القمح فلم يتأثر حتى تركيز ٥٠٠ جزء بالمليون.

الجدول ١٩: يمثل تركيز اليوريا بالغرام لكل لتر ماء لرشها على المحاصيل

اسم النبات	اسم المحصول	التركيز غرام يوريا/لتر ماء
أ– المحاصيل الحقلية	الحنطة	٢٤–٩٦٠
	الذرة الصفراء	٦–٢٤
	البنجر السكري	٢٤
	القطن	٢٤–٦٠
	التبغ	٣.٦–١٢
ب– الخضراوات	الخيار	٣.٦–٦
	البزاليا	٤.٨–٧.٢
	الطماطم	٤.٨–٧.٢
	الفلفل	٤.٨–٧.٢
	الخس	٤.٨–٧.٢
	القرع	٧.٢–١٤.٤
	الجزر	٢٤
	البصل	٢٤
ج– الأشجار المثمرة	الحمضيات	٦–١٢
	العنب	٤.٨–٧.٢
	التفاح	٤.٨–٧.٢

مزايا استعمال اليوريا

١. سماد اليوريا مصدر عالي التركيز من النتروجين ٤٦٪ وهذا ما يخفض تكاليف التعبئة والنقل والتخزين وأجور نثر السماد.

٢. حبيبات سماد اليوريا متجانسة تقريباً مما يسهل عملية التوزيع المتجانس للسماد على كامل المساحة سواء كان النثر يدوياً أو آلياً.

٣. سماد مزدوج الاستعمال حيث يمكن إضافته عن طريق التربة أو عن طريق رش المجموع الخضري بتراكيز معينة.

٤. سماد سريع التحول إلى صورة صالحة لامتصاص النبات إذا كانت ظروف التربة والمناخ مساعدة لعملية تحول النتروجين في اليوريا من الصورة الأميدية إلى الصورة النتراتية.

٥. سماد خال من الشوائب ولا يترك أي مخلفات في التربة بعد تحلله حيث أنه يتكون من الكاربون والنتروجين والأوكسجين والهيدروجين.

٦. سماد يمتص الرطوبة، سريع الذوبان في التربة لدى توفر معدلات منخفضة نسبياً من الرطوبة الأرضية.

٧. سماد اليوريا مصدر رخيص الثمن للآزوت حيث أن سعر وحدة النتروجين فيه أخفض من سعر وحدة النتروجين في الأسمدة النيتروجينية الأخرى.

٨. لا تسبب اليوريا أي انفجارات لدى تخزينها بخلاف نترات الأمونيوم.

٩. إن إنتاج سماد اليوريا لا يلوث البيئة بالقدر الذي يلوثها إنتاج الأسمدة النيتروجينية الأخرى.

الاحتياطات الواجب اتخاذها لدى استعمال اليوريا

يجب حساب الكمية المطلوب استعمالها من اليوريا بدقة حسب نوع النبات والصنف ونوع الزراعة مروية أو ديمي "بعلية". وتعادل وحدة النتروجين (١ كغم نتروجين صافي) كمية ٢.٢ كغم من سماد اليوريا.

يجب عدم استعمال كمية تزيد عن ٢٢٢ كغم يوريا في تسميد الهكتار الواحد في الإضافة الواحدة وهذا ما يعادل ١٠٠ وحدة نتروجين تقريباً. إن المفتاح الرئيسي للاستفادة القصوى من استعمال سماد اليوريا هو خلطها في التربة بعمليات الزراعة أو بمياه الأمطار أو الري. يجب نثر سماد اليوريا على كامل مساحة التربة قبل الزراعة وطمرها مباشرة في التربة إلى عمق أدنى بحوالي ٥ سم من مراقد البذور ويساعد الطمر المباشر لسماد اليوريا في التربة على الاستفادة القصوى من النتروجين الموجود فيها لأن بقاء سماد اليوريا على

سطح التربة معرضة للعوامل المناخية يؤدي إلى فقد جزء من النتروجين على صورة غاز الأمونيا وخاصة في الأتربة ذات المحتوى العالي من كربونات الكالسيوم.

الإضافات السمادية بعد الزراعة

في الزراعة المروية: تنثر الكمية المخصصة من سماد اليوريا بين خطوط أو سطور النباتات وتطمر عقب إضافة السماد.

في الزراعة الديمية: تضاف اليوريا كدفعة ثانية في منطقة الاستقرار الزراعي الأولى إذا لم يتوفر سماد نترات الأمونيوم وتفضل إضافتها عندما تكون رطوبة التربة كافية لذوبانها أو قبل توقع في هطول الأمطار.

في الزراعة المروية يجب أن تكون السقايات خفيفة بعد إضافة سماد اليوريا أو أي سماد نتراتي وذلك لمنع غسيل النتروجين الموجود فيها سواء على صورة جذر الأميد أو جذر النترات لأن الجذرين لا يدمصان على سطوح معقد الإدمصاص.

في الأتربة الرملية: يفضل تجزئة اليوريا إلى عدد كبير من الدفعات حتى يتم الإقلال من فرص غسيل اليوريا مع المياه الزائدة عن قدرة الترب الرملية على الاحتفاظ بها.

استعمال اليوريا في تغذية الحيوان لم تصدر دراسات حول موضوع استعمال اليوريا في تغذية الحيوانات المجترة إلا في أواخر القرن التاسع عشر. ويستهلك أكثر من ٢٠% من إنتاج الولايات المتحدة من اليوريا في علائق الحيوانات كبديل للبروتين ويمكن استخدام اليوريا المصنعة والمحتوية على نسبة من البيوريت تساوي أو تزيد قليلاً عن اليوريا المستعملة في تسميد النبات كبديل البروتين في علائق الحيوانات.

إمكانات مزج اليوريا بغيره من الأسمدة ينصح بشكل عام بمزج الأسمدة قبل استعمالها مباشرة:

- يمكن مزج اليوريا مع كبريتات البوتاسيوم
- يمكن مزج اليوريا مع السوبر فوسفات شريطة استعمال المزيج مباشرة لأن المزيج يمكن أن يمتص الرطوبة ويصبح صعب التوزيع بنثر الأسمدة إذا ترك عدة أيام.
- لا يمكن مزج اليوريا مع سماد نترات الأمونيوم الكلسي

تأثير تجزئة إضافة السماد النتروجيني

يحتاج النبات إلى النتروجين في المراحل الأولى من حياته لأنه عامل محدد لنمو النبات وان كمية النتروجين التي يمتصها النبات تختلف خلال مراحل نموه المختلفة، ويزداد امتصاص النتروجين من قبل النبات خلال مراحل نموه حتى يصل إلى اعلى معدل له عند مرحلة التزهير وان نقص النتروجين أو حصول النبات عليه

بكميات قليله يؤدي إلى تدني تكوين الكلوروفيل وبالتالي تدني كفاءة التركيب الضوئي، وكذلك إن نقص النتروجين قد يؤدي إلى قلة المساحة الورقية وضعف نمو النبات، إن نقص النتروجين قد يظهر في أية مرحله من مراحل النمو، فقد تظهر أعراض النقص على أوراق النباتات الصغيرة والكبيرة، وأن أعراض النقص تظهر على الأوراق القديمة أولاً ثم تنتقل إلى الأوراق الحديثة. وأن افصل طريقه لإضافة السماد النتروجيني هي إضافة ثلث الكميه عند الزراعة وثلثي الكمية بعد الزراعة وان لا تتأخر عن بداية التزهير، أن إضافة الأسمدة النيتروجينية في وقت متأخر يؤدي إلى طول مدة النمو الخضري وبالتالي تأخر النضج، إن احتياج العنصر الغذائي في مراحل نمو النبات المختلفة هو الذي يحدد وقت إضافة السماد وان أفضل طريقه لإضافة السماد هي التي تؤمن كفاءة عالية لاستخدامها من قبل المحصول النامي. تؤدي إضافة النتروجين إلى نباتات المحاصيل إلى زيادة نشاطها فيزداد عدد الأوراق بالنبات والمساحة الورقية وينتج عن هذه الزيادة قدرة النبات على الاستفادة من الطاقة الضوئية الساقطة وتحويلها إلى طاقه كيميائية ثم إلى زيادة قدرة النبات على تكوين المادة الجافة ويجب أن لا تزيد كمية النتروجين المضافة إلى النباتات عن حد معين فيؤدي ذلك إلى دخول جزء كبير من المادة التي يصنعها النبات في بناء المجموع الخضري ثم إلى نقص الكميه الكلية التي تدخل في بناء المجموع الثمري.

أسمدة نتروجينيه أخرى اليوريا المغلفة بالكبريت ٣٥% نتروجين و ١٩ % كبريت

نترات الأمونيوم NH_4NO_3 ويحتوي ٣٥% نتروجين

كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$ ويحتوي ٢١% نتروجين و ٢٤% كبريت

نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ ويحتوي ١٧% نتروجين و ٢٤% كالسيوم

الفصل السابع

الفسفور

استهلال

- هو مفتاح الحياة The Key to Life
- يوجد في الترب الزراعية بين ٠.٠٢ – ٠.١٥ % والفوسفور الذائب في محلول التربة قليل جداً يتراوح بين ٠.٣ – ٣ ppm اعتمادا على نوع مادة التربة الأصلية والعمليات الطبيعية التي تحصل فيها ونسجه التربة ودرجة الحرارة والمحتوى الرطوبي وكذلك عمر التربة. وبصورة عامة فان محتوى خلايا الجذر وعصير الخشب من الفوسفور يقارب ١٠٠ – ١٠٠٠ ضعف عن محتوى محلول التربة وهذا يعني أن امتصاص الفوسفور من قبل خلايا النبات هو ضد التغير بالتركيز أي امتصاص حيوي، هذا في الترب المعدنية حيث تكون كمية الفوسفور الكلي قليلة نسبيا، أما الترب العضوية فان محتواها من الفوسفور الكلي أعلى
- تزداد نسبته في الطبقة السطحية للتربة بسبب زيادة سرعة تحلل المادة العضوية فيها
- أتربة المناطق الجافة وشبه الجافة يكون محتواها من الفوسفور الكلي اعلى من محتوى ترب المناطق الرطبة المشابهة لها بالنسجة
- محتوى التربة الخشنة من الفوسفور الكلي اقل من محتوى التربة ذات النسجة الناعمة
- يمتص الفوسفور من النبات بهيئة معدنية PO_4^{-3} و HPO_4^{-2} و $H_2PO_4^{-}$
- يتحول داخل النبات وبعد ١٠ ثواني إلى فوسفور عضوي، وبهذه الصورة يتحرك داخل النبات ليعوض أي نقص فيه
- الفوسفور عنصرا معدنيا غير غازي

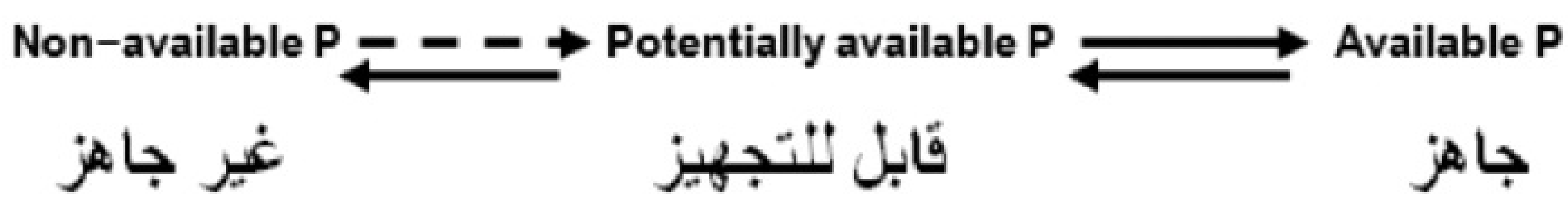
صور الفوسفور في التربة

١. الفوسفور الذائب Soluble-P: يمثل هذا الجزء الفوسفور الأكثر تيسراً للامتصاص من قبل جذور النباتات ويرتبط بشكل جيد مع الفوسفور الممتص من قبل النبات، الفوسفور الذائب في الماء يعد مؤشرا مناسبا للجاهزية الحيوية لأنه الوسط الذي تأخذ منه النباتات الراقية حاجاتها من المغذيات المعدنية.

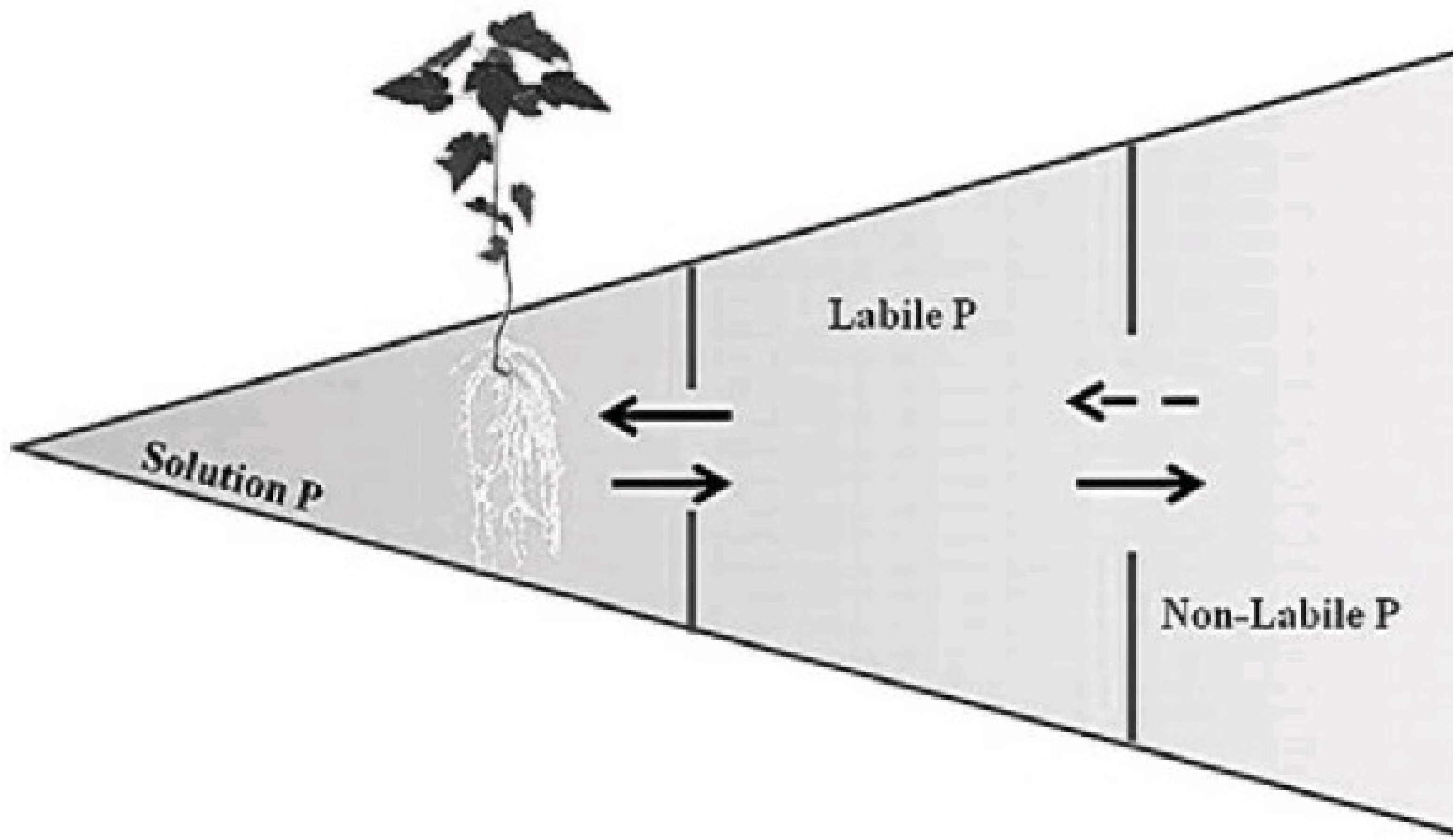
٢. الفوسفور غير المستقر Labile-P: ويمثل هذا الجزء الفوسفور الموجود على أسطح حبيبات التربة ويكون في حالة توازن مع الفوسفور الذائب ويعد بذلك مخزنا للفوسفور في محلول التربة ويقوم بالتعويض عند استنزاف الفوسفور الذائب من قبل النبات.

٣. الفوسفور المستقر Non-Labile-P: يكون هذا الجزء من الفوسفور بطيء الحركة جدا نحو الجزء غير المستقر ويتحرر منه الفوسفور بصورة بطيئة جدا، وان استفادة النباتات من هذا الجزء قليلة جدا مقارنة ببقية الصور الأخرى.

والعلاقة بين أجزاء الفوسفور المختلفة تكون على النحو الآتي



والشكل يبين العلاقة بين صور الفوسفور المختلفة من ناحية جاهزيتها للنبات



أقسام فوسفور التربة

الفوسفور المعدني، ويوجد في معادن

أ – الاباتيت Apatite مثل (هايدروكسي وفلور وكلورو وكاربونيت)

ب – فوسفات ثنائي وثلاثي الكالسيوم

(Tricalcium) (Dicalcium) Phosphate

ج – الفرسكايت Variscite

د – السترنكايت Strengite(فوسفات الكالسيوم وفوسفات الحديد وفوسفات الألمنيوم

يمتز الفوسفور المعدني في الترب الكلسية على سطح كربونات الكالسيوم، وفي الترب الحامضية على أسطح أكاسيد الحديد والألمنيوم

00:06:40

٢. الفوسفور العضوي: يُكون اكثر من نصف الفوسفور الكلي، وتوجد الكميات الكبيرة منه عادة في الترب العضوية.

ومن اهم مركبات الفوسفور العضوي الموجود في التربة هي الآتي:

Inositol phosphat: وهي بصورة عامة جزيئات سكرية مع مليغرامات أو اكثر من الفوسفات التي تحل محل أيونات الهيدروجين، ويشكل ٣٠-٥٠%.

Nucleic acid: الأحماض النووية للنبات والحيوان والكائنات الدقيقة والتي عند تحللها داخل التربة تشكل ما يقرب من ١٠% من فوسفور التربة العضوي.

Phospholipids: هذه المركبات ناتجة من اتحاد الفوسفور بمركبات دهنية، وتصل نسبة هذا الجزء في الفوسفور العضوي بمعدل ٥ – ١٤%.

المادة العضوية المضافة إلى التربة تؤدي إلى زيادة حركة الفوسفور في الترب الكلسية ويصاحب ذلك زيادة في كمية الفوسفور العضوي في محلول التربة.

وتتراوح كميته في التربة بين ٣٠ – ٧٠ % من الفوسفور الكلي بالطبقة السطحية (في الترب الكلسية يشكل ١٥%)، ويتأثر هذا النوع من الفوسفور بعدة عوامل

١. محتوى التربة من المادة العضوية

٢. يقل مع ارتفاع درجة حرارة الجو وزيادة كمية الأمطار الساقطة

٣. يزداد المحتوى من الفوسفور مع ارتفاع قيم تفاعل التربة

٤. زيادة كثافة الغطاء النباتي تقلل من محتوى الفوسفور

(**المعدنة** **Mineralization** تحول الصور العضوية من الفوسفور إلى صور معدنية، وتعتمد على نشاط الكائنات الحية الدقيقة المتخصصة ودرجة الحرارة والرطوبة والتهوية وكثافة النباتات ودرجة تفاعل التربة والوقت.

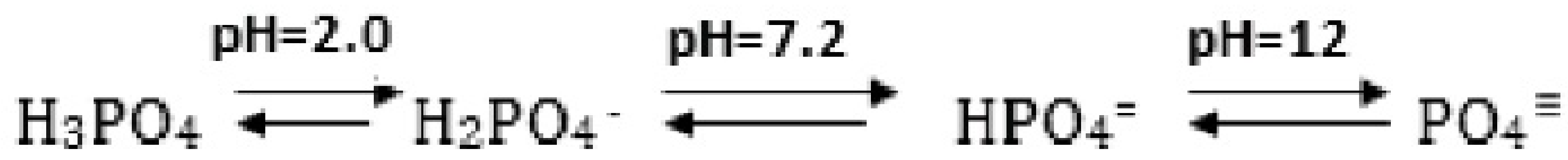
تلعب ميكروبات التربة دوراً رئيسياً في تحويل الفوسفور من الصورة الغير ذائبة إلى الصورة الميسرة الصالحة للاستفادة بواسطة النبات ويوجد عديد من البكتيريا التابعة لجنس الباسيلس والباسيدرمونس وكذلك فطريات البنسليوم لها القدرة على تحويل الفوسفور الغير ذائب إلى صورة ذائبة نتيجة إفرازها أحماض عضوية تخفض الـ pH في الترب القاعدية مما يساعد في تيسر الفوسفور. كما أن الفطريات المايكوريزا التي ترتبط بجذور بعض النباتات دورا هاما في إذابة وانتقال الفوسفات.

العوامل التي تؤثر في وجود صور الفوسفور المعدني وجاهزيته

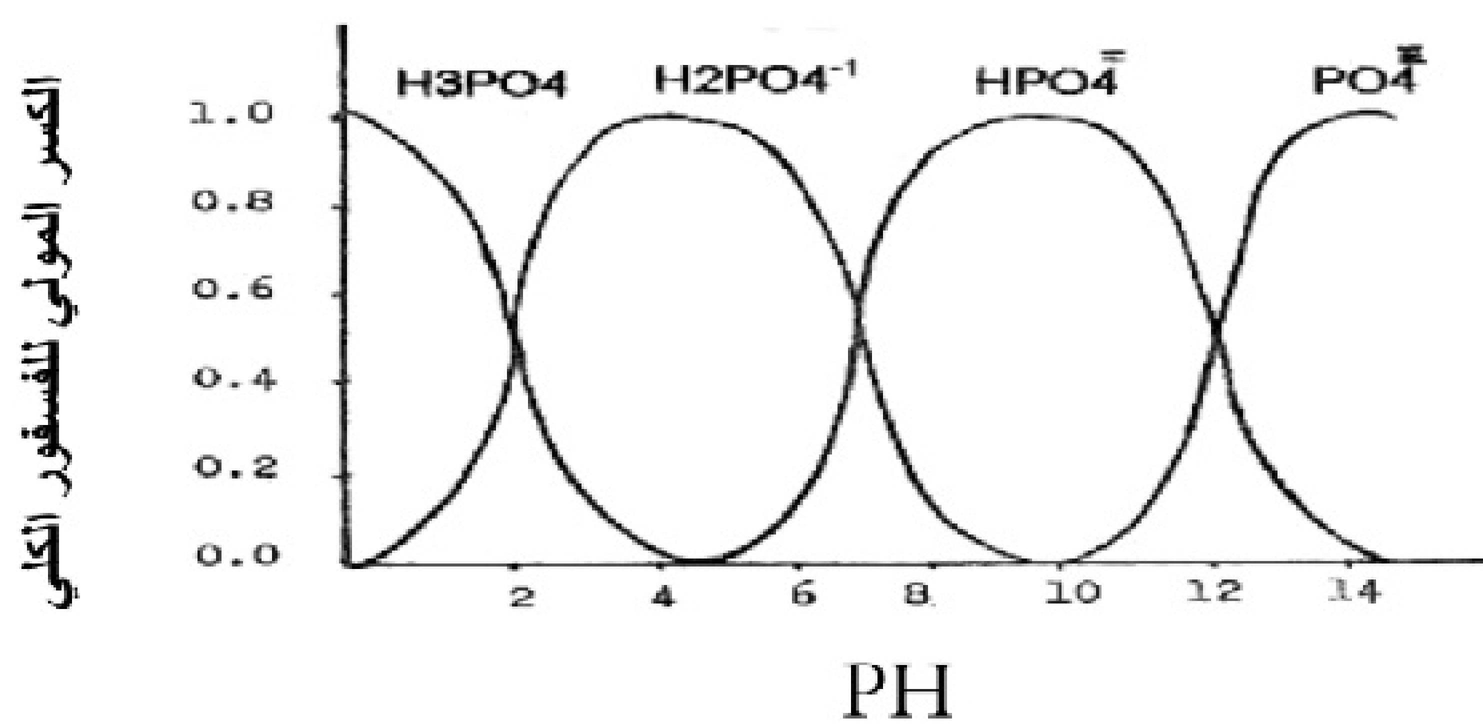
دورة الفوسفور في الطبيعة ابسط من دورة النتروجين فيها لعدم احتواء الفوسفور على تبادل غازي بين التربة والجو، وفوسفور التربة يوجد بشكلين أساسيين، هما الفوسفور المعدني ويكون على شكل مركبات تحتوي على الكالسيوم والألمنيوم والحديد والفلور أو عناصر أخرى، وهي قليلة الذوبان في الماء لذا فان جاهزيتها للنبات محدودة جداً أو معدومة وبشكل معدن الـ Apatite، وأكثرها شيوعا في الترب المعدنية معدن الهيدروكسي ابتايت ومعدن الفلوروابتايت.

وتؤثر عوامل عديدة في وجود صور الفوسفور المعدني وجاهزيته للامتصاص من قبل النبات واهمها:

درجة تفاعل التربة: اكثر الفوسفات تمتص من قبل النبات على شكل أيون الاورثوفوسفات وبصورة أحادية $H_2PO_4^-$ وثنائية HPO_4^- الذائبة في محلول التربة وان نسبة امتصاصها من قبل النبات تتأثر بدرجة تفاعل التربة حيث تسود الصورة الأحادية في الترب الحامضية في حين تسود الصورة الثنائية في الترب القاعدية لأكثر من ٧.٢، وحسب المعادلة الآتية:



أما الترب المتعادلة عند درجة pH (٧.٢) فتتساوى الصورتين في محلول التربة حيث تتساوى الصورتان ($H_2PO_4^-$) و ($HPO_4^=$) عند درجة تفاعل التربة ٧.٢. وان افضل رقم pH لجاهزية الفوسفور هو (٦.٥ – ٧.٥). يترسب الفوسفور المضاف بشكل فوسفات الحديد والألمنيوم في الترب الحامضية التي يقل الـ pH فيها عن ٥.٥ أما الترب القاعدية ا لتي يرتفع فيها الـ pH عن ٧.٥ يترسب الفوسفور المضاف على شكل فوسفات الكالسيوم والمغنيسيوم مما يقلل من جاهزيته في محلول التربة. كما في الشكل



نسجه التربة ونوع معدن الطين: للترب ذات المحتوى العالي من الطين تأثيرا كبيرا في حجز الفوسفات، فقد وجد في نتائج تجربة مختبرية على ثلاث نسجات مختلفة مزيجة ومزيجة طينية و طينية بإضافة سماد سوبر فوسفات ٢٠% P بان كمية الفوسفور الذائب في محلول التربة المزيجة كان اكبر من المزيجة الطينية والطينية بسبب عملية التثبيت التي يتعرض لها السماد الفوسفاتية من قبل الجزء الطيني، كما وجد اختلافا واضحا في جاهزية الفوسفور عند إضافة سماد فوسفاتي إلى تربتين مختلفتين بالنسجة (الرميلية والأخرى مزيجية رملية) ولمدة سنة كاملة وفسر ذلك بان الفوسفور يتعرض لعملية الغسل في الترب الرملية لذلك تنخفض جاهزيته فيها أما التربة المزيجية الرملية فان حبيبات الطين تمتز وتحجز الفوسفور وتحوله إلى صور غير جاهزة. ويزداد حجز الفوسفور في معادن الطين ١:١ مثل الكاؤولينات مقارنة بمعادن الطين ١:٢ مثل المونتمورلينات، ويعزى السبب إلى زيادة الأكاسيد المائية للحديد والألمنيوم في معادن ١:١ والتي لها القابلية على التثبيت مقارنة بأكاسيد الكالسيوم والمغنيسيوم، فضلاً عن احتوى معادل ١:١ على ثماني من OH في حين تحتوي معادن ١:٢ على أربعة مجاميع OH وان عملية امتزاز الفوسفات تتم بتبادل مع مجاميع الـ OH في هذه المعادن.

كربونات الكالسيوم: كربونات الكالسيوم من الأملاح السائدة في الترب الكلسية والتي تشكل نسبة عالية في اغلب ترب الوطن العربي تتراوح بين ١٥% – ٣٥% فضلا عن وجود بعض الترب في المناطق الشمالية تحتوي على اكثر من ٣٥% وتوجد بعض الترب في المناطق الجنوبية فيها الأقل من ١٥%. توجد كربونات الكالسيوم بصورة حبيبات دقيقة وقد يكون لها خواص الغرويات والتي تسيطر على اغلب التفاعلات الكيمياوية عند إضافة السماد الفوسفاتي لتلك الترب أما بوساطة ربط الفوسفات لسطوحها في التراكيز المخففة أو أن أيون الكالسيوم يرسب أيون الفوسفات الذائب والذي مصدره كربونات الكالسيوم. إن ترطيب وتجفيف التربة يؤثر بشكل كبير في سلوك الكربونات، إذ تسبب رفع قيم الامتزاز الأعظم وخفض قيم طاقة الربط على ضوء (معادلة لنكميار)، وتوصل أيضا إلى وجود ارتباط موجب ومعنوي بين المساحة السطحية الكلية لكربونات الكالسيوم وكمية الفوسفات الممتزة. محتوى الترب العالي من كربونات الكالسيوم يؤثر في حالة العناصر الغذائية في التربة وجاهزيتها للنبات من خلال تأثيرها في تفاعلات السماد المضاف إلى التربة. أن عمليات تكوين فوسفات الكالسيوم في التربة هي عمليات ترسيب نتيجة لتفاعل أيونات الفوسفات مع أيونات الكالسيوم. الفوسفور الموجود في التربة أو المضاف إليها خلال السنوات السابقة يكون بأحد الأشكال الآتية والمرتبة حسب درجة ذوبانيتها:

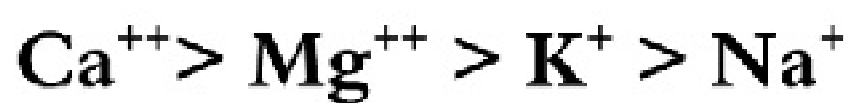
$$FA < HA < B.TCP < OCP < DCP < DCPD < MCP$$

وهناك علاقة ارتباط عالية المعنوية بين الفوسفور الجاهز ومحتوى التربة من كربونات الكالسيوم. الامتزاز السطحي والترسيب للفوسفور في الترب الكلسية هو العامل الأساس لخفض محتوى الفوسفور الجاهز في هذه الترب عن طريق تكوين أيونات معقدة من الفوسفور والكالسايت أو عن طريق تكوين فوسفات الكالسيوم الثنائية (DCP). الترب الكلسية ذات درجة تفاعل التربة القاعدي والتي تحتوي على وفرة من أيونات الكالسيوم وكربونات الكالسيوم تتصف بأن محتواها من الفوسفور أما يكون ممتزا على الأسطح الصلبة خصوصاً اسطح كربونات الكالسيوم أو مترسبا على هيئة فوسفات الكالسيوم. وان فوسفات الكالسيوم هي السائدة في ترب الوطن العربي مقارنة بالأشكال الأخرى.

المادة العضوية: تؤثر المادة العضوية تأثيراً إيجابيا في ذوبان الفوسفور الممتز والمترسب بسبب تكوين مركبات مخلبية مع أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد والألمنيوم تمنع ارتباط هذه الأيونات مع أيونات الفوسفور الجاهز للامتصاص وتقلل من ترسيبها. وان فعالية الأحماض العضوية الهيومك والفولفك الناتجة من عملية التحلل تقلل من كمية الفوسفات الممتزه وذلك في تكوين مركبات مخلبية مع الحديد والألمنيوم اللذان يعدان اكثر العناصر تأثيراً في جاهزية الفوسفور في التربة. لمحتوى التربة من المادة العضوية دور مهم في التقليل من كمية الفوسفات المحتجزة من خلال منافسة الأحماض العضوية الناتجة من تحلل المادة العضوية للفوسفات على اسطح الامتزاز وكذلك التقليل من دور أكاسيد الحديد والألمنيوم من خلال عملية الخلب Chelation لهذه المركبات ومن ثم يقلل تفاعلها مع الفوسفات، فضلا عن دور المادة العضوية في خفض درجة تفاعل التربة. المادة العضوية تعد مصدرا رئيسيا لطاقة الأحياء المجهرية في التربة وكذلك مصدرا للإلكترونات في ظروف الاختزال البيولوجي في التربة مما يؤدي إلى زيادة جاهزية الفوسفور. دور المادة العضوية مهم في التقليل من حجز الفوسفور في الترب ذات المحتوى العالي من المادة العضوية أما الترب المعدنية ذات المحتوى الواطئ من المادة العضوية كترب المناطق الجافة وشبه الجافة، فأهميتها اقل، ومع هذا فأن دور المادة العضوية يصبح مهما من خلال الإضافات المستمرة لهذهِ المواد إلى التربة. تحلل المادة العضوية ينتج عنه تحرر غاز ثنائي أوكسيد الكاربون الذي يذوب في الماء مكونا حامض الكربونيك وهذا يعمل على إذابة بعض المركبات الفوسفاتية المترسبة وبعض المعادن الأولية الحاملة للفوسفور مما يؤدي إلى تحرر الفوسفور منهما. المادة العضوية تزيد من نسبة الامتزاز ذات الطاقة الواطئة على حساب الامتزاز

ذات الطاقة العالية ومن ثم تزيد من جاهزية الفوسفور للنبات بسبب التوازن السريع بين الفوسفور المرتبط بطاقة واطئة ومحلول التربة.

ملوحة التربة: تؤثر الأيونات الموجبة للأملاح المختلفة تأثيرا سلبيا في إذابة الفوسفور في محلول التربة، زيادة تركيز الأملاح كالنترات والكلوريدات لكل من K^+ Ca^{+2} و NH_4^+ و Na^+ و Mg^{+2} في محلول التربة تزيد من امتزاز الفوسفات في المحاليل المعلقة لكل من التربة والطين والأكاسيد المتأينة للحديد والألمنيوم ويعود السبب إلى انخفاض فعالية أيون $H_2PO_4^-$ الذي يمتصه النبات بنسبة ٤٠% مقارنة بالترب غير المتأثرة بالملوحة وانعكاس ذلك على نمو النبات كما أن تأثير الملوحة في تركيز الفوسفور بالتربة قد يعود إلى انه من العناصر المحدودة الحركة بالتربة وان امتصاصه من قبل النبات يعتمد على المساحة السطحية للجذر وان ضعف نمو الجذور الناجم من تأثير الملوحة يقلل من قابليتها على امتصاص الفوسفور. إن الفوسفور الموجود أصلاً في التربة الكلسية أو الذي يضاف في التربة كسماد فوسفاتي يتعرض إلى تفاعلات مع أيون الكالسيوم الذائب في محلول التربة ويتحول إلى مركبات مختلفة في درجة ذوبانها فالناتج الأول لتفاعل الفوسفات مع الكالسيوم هو تكوين ثنائي فوسفات الكالسيوم المائية (DCPD) ثم يليها ثنائي فوسفات الكالسيوم (DCP) ومن ثم ثماني فوسفات الكالسيوم (OCP) وأخيراً الاباتايت بأنواعها المختلفة كالهايدروكسي أباتابت (HA) وفلوراباتايت (FA). إن سرعة تحول هذه المركبات من الأكثر إلى الأقل ذوبانية في نظام التربة يتأثر بعدد من العوامل منها درجة التفاعل، الأيونات الموجبة وخاصة الكالسيوم والمغنيسيوم ومحتوى وفعالية كربونات الكالسيوم في التربة ونوعية معادنها وتركيز الأملاح في التربة. إن تركيز الأملاح من مصادرها المتعددة في التربة تُعد أحد العوامل التي تؤثر في ذوبانية وجاهزية الفوسفور في التربة حيث تؤدي زيادة الأملاح في التربة إلى خفض جاهزية الفوسفور. في دراسة لتأثير نوعية الأملاح وتركيزها في تفاعلات الفوسفور إلى وجود انخفاض معنوي في جاهزية الفوسفور مع زيادة تركيز الأملاح في التربة وان ترتيب الكاتيونات (الأيونات الموجبة)السائدة على سطح المعدن الطيني حسب تأثيرها في جاهزية الفوسفور تكون كالآتي:



$$Ca^{++} > Mg^{++} > K^+ > Na^+$$

أن التأثير السلبي للملوحة في جاهزية الفوسفور في التربة تعود إلى انخفاض فعالية أيون$H_2PO_4^-$ الذي يمتصه النبات) بنسبة ٤٠% مقارنة بالترب غير المتأثرة بالملوحة وانعكاس ذلك على نمو النبات. أن تأثير الملوحة في تركيز الفوسفور في التربة قد يعود إلى أن الفوسفور من العناصر المحدودة الحركة بالتربة وأن

امتصاصه من قبل النبات يعتمد على المساحة السطحية للجذور وأن ضعف نمو الجذور الناجم عن تأثيرات الملوحة يقلل من قابليتها على امتصاص الفوسفور. أما بالنسبة لتأثير ملوحة مياه الري في جاهزية الفوسفور في التربة فأن زيادة ملوحة مياه الري من (٢-٤) ديسي سيمنز.م$^{-1}$ سببت انخفاضاً معنوياً في تركيز الفوسفور الجاهز في التربة.

أن تركيز الفوسفور في التربة قد انخفض معنوياً مع زيادة ملوحة ماء الري عند استعماله لثلاث نوعيات من مياه الري ملوحتها (١ و٣ و٥) ديسي سيمنز.م$^{-1}$.

درجة الحرارة: لدرجة الحرارة تأثيرا كبيرا في جاهزية الفوسفور خلال زيادة سرعة التفاعلات الكيمياوية في التربة لاسيما عند درجات الحرارة العالية.

السعة التنظيمية: السعة التنظيمية للفوسفور تمثل الانحدار للعلاقة بين كل من كمية الفوسفات في التربة وتركيز الفوسفور في محلول التربة، وتمثل مقدار التغير الذي يحدث في تركيز أيون الفوسفات في محلول التربة. إذن فان السعة التنظيمية للتربة لعنصر الفوسفور تمثل مقدار مقاومة هذه التربة للتغير الذي يحدث في تركيز الفوسفات في محلول التربة نتيجة لإضافة أيون الفوسفات في محلول التربة أو سحبه وهي تمثل الانحدار للعلاقة بين (Q/I) والمحسوب في محلول الاتزان للتربة في محلول عياريه (٠.٠١) من كلوريد الكالسيوم مع تراكيز متدرجة لأيون الفوسفات. أن المصدر الأساس للفوسفات الممتصة من قبل جذور النبات هو محلول التربة ونتيجة لسحب الممتز فان تركيز الفوسفات في محلول التربة سيقل ويتم تعويض المحلول من قبل الفوسفات الممتزة على سطوح دقائق التربة، ولذا فان العاملين الأساسين المهمين بجاهزية الفوسفور للنبات هو كل من كمية الفوسفات الممتزة، وكذلك تركيزه في محلول التربة. وان القابلية التنظيمية للفوسفور من قبل التربة هي نتيجة لعملية متداخلة تشترك فيها كل من تفاعلات الامتزاز والترسيب والإذابة والتحرر. وصفة التفاعلات تؤثر في كمية الفوسفور المجهزة لمحلول التربة يمكن تمثيلها بكفاءة عالية باستخدام النموذج الرياضي لمعادلة لانكماير وحسبت السعة التنظيمية للاتزان (EBC) (Equilibrium Buffering Capacity والذي يمثل ميل المماس لمنحنى الامتزاز الفوسفات عند تركيز معين من الفوسفات في محلول التربة عند الاتزان وتمثل مشتقة (معادلة لانكماير) ذات السطحين عندما يكون تركيز معين من أيون الفوسفات. لاحظ النموذج الرياضي التالي:

$$\frac{dx}{dc_{c\to c1}} = \frac{k_1 Xm_1}{(1+K_1 C_1)^2} + \frac{K_2 Xm_2}{(1+K_2 C_1)^2}$$

معادلة الانتشار لتخمين الاحتياجات السمادية لثلاث ترب تختلف في صفاتها الامتزازية، واستنتجوا بان الترب الفقيرة في سعتها التنظيمية والمتمثلة في الترب الرملية المزيجية تحتاج إلى ثمانية أضعاف لتركيز الفوسفور في محلولها بمقارنة مع الترب الطينية. وأن الحد الحرج لكمية الفوسفور في المستودع غير المستقر (Labile-P) والمؤثر في نمو النباتات سيزداد بزيادة السعة التنظيمية حيث أن زيادتها في التربة تؤدي إلى انخفاض في قابلية استخلاص الفوسفور بالطريقة نفسها وأدى أيضا إلى انخفاض في كمية الفوسفور الممتصة من قبل النبات وكان العامل الرئيس المحدد لامتصاص الفوسفور من قبل النبات هو تركيز أيونات الفوسفات على سطح الجذور والتي تتناسب طرديا مع تركيز الفوسفات في محلول التربة المجاورة للجذور، ولذا فان معدل امتصاص الفوسفور من جذور النباتات يزداد بزيادة تركيز الفوسفور في محلول التربة إلى مدى معين. وقد وجد بالنسبة لمعظم المحاصيل أن التركيز لعنصر الفوسفور الذي يتراوح بين (٠.٢-٠.٣) ميكروغرام P.سم$^{-٣}$ هو التركيز الأمثل الذي حدث فيه أعلى نمو. وبالرغم من أن التركيز الأمثل لأصناف مختلفة من المحاصيل تراوح بين (٠.٣-٠.٧) ميكروغرام P.سم$^{-٣}$ إلا أن معدل الامتصاص للفوسفور يتغير تبعا لمرحلة نمو وعمر النبات حيث يقل معدل الامتصاص مع تقدم عمر النبات. أحد المعايير التي تربط كلاً من الكمية (Q) والشدة (I) والسعة التنظيمية للاتزان للتربة (EBC) بوصفها العوامل الثلاثة التي تحدد قابلية التربة على تجهيز الفوسفور إلى جذور النباتات، وأطلق على هذا المعيار معامل التجهيز (Supply Parameter) المعروف اختصارا (SP)، والذي اشتق من (معادلة لانكماير) ذات السطح الواحد وقد وجد الارتباط العالي بين كل معامل التجهيز ومعدل امتصاص الفوسفور من قبل النباتات وان معامل التجهيز:

$$Sp = \sqrt{(C \times q) / \sqrt{(K_1 \times K_2)}}$$

الذي يصف قابلية التربة على تجهيز الفوسفور بالربط بين كل من عامل كمية الفوسفور الممتزة وعامل الشدة (C) (Intensity). ولقد لاحظ الباحثون أن إنتاج المادة الجافة لمحصول الحنطة يزداد بصورة خطية (Linear) مع زيادة قيمة معامل التجهيز الذي تم حسابه عند كل مستوى سمادي حيث وصل معدل الإنتاج إلى ٩٠% عند القيم (٠.٣) لمعامل التجهيز. والذي استنتج أن قيمة (Sp) تعطي قياساً لمدى جاهزية الفوسفور للنبات مقارنة بمعيار الكمية والشدة لوحدهما. ومن الجدير بالذكر إن طبيعة منحنى الامتزاز لأيون الفوسفات هي التي تتحكم في قيمة السعة التنظيمية للفوسفور في التربة، ولذا يمكن تحديد قيمة السعة التنظيمية باستخدام النموذج الرياضي الذي يصف منحنى التربة للفوسفات بكفاءة عالية، وان

الاختلاف في قيم السعة التنظيمية في الترب يعود إلى اختلاف طبيعة منحنى الامتزاز للفوسفات، كما أن لتباين كل من قيم الامتزاز الأعظم وطاقة الربط في مواقع الطاقة المرتفعة والمنخفضة أدى إلى اختلاف جاهزية الفوسفور عند المواقع المختلفة لمنحنى الامتزاز حيث أن ارتفاع كمية الفوسفور الممتزة وانخفاض طاقة الربط لأيون الفوسفات في الترب يعني سهولة تحرره من سطوح الامتزاز إلى محلول التربة مما يؤدي إلى زيادة معدلات الانتشار لهذا الأيون ووفرة امتصاصه من قبل النبات.

يوجد الفسفور بدرجة كبيرة على شكل ارثوفوسفات والمحتوى الكلي للتربة من الفسفور يتراوح بين ٥٠٠- ٨٠٠ ملغم/كغم تربة جافة من عنصر الفسفور. الكمية الأساسية من هذا الفسفور تكون مرتبطة بمادة التربة العضوية. وفي الترب المعدنية يتراوح الفسفور العضوي بين ٢٠ إلى ٨٠% من الفسفور الكلي.

من ناحية تغذية النبات فسفور التربة يمكن توضيحه بمصطلح المستودعات (Pools) ذات الجاهزية المختلفة للنباتات. الفسفور في محلول التربة كامل الجاهزية ولكنه يشكل فقط جزءاً صغيراً جداً من فسفور التربة الكلي. الفسفور في حجم التربة هو بالواقع غير جاهز. اكثر من ٩٠% من الفسفور الكلي يوجد بصور غير ذائبة ومثبتة وتضم معادن الفسفور الأولية، فسفور الدبال، وفوسفات الكالسيوم والحديد والألمنيوم غير الذائبة والفسفور المثبت بوساطة الأكاسيد المائية (Hydrous Oxides) والمعادن السليكاتية. هذا الجزء من الفسفور يمكن أن يفسر على انه فسفور غير متغير (Non Labile). جزء من الفسفور غير الذائب يكون أكثر جاهزية من ذلك الذي يكون محفوظاً كخزين. في هذا الجزء المتغير (Labile) من الفسفور الصلب يوجد في الفسفور المترسب وأيضا يحمل على سطوح التربة. الفسفور المتغير هو في توازن سريع مع الفسفور في محلول التربة. إزالة الفسفور من محلول التربة من قبل جذور النبات يعكر التوازن بين تركيز الفسفور في محلول التربة وبين مستودع الفسفور المتغير عند الطور الصلب للتربة الذي يقود إلى تحرر الفسفور إلى محلول التربة.

نلاحظ بأنه بعد إضافة الفسفور إلى محلول التربة فان كميات كبيرة من P يمكن أن تثبت في الجزء المستقر غير المتغير من الفسفور (Mon Lahile Fraction). وهذا الجزء هو أيضا مصدر الفسفور الذي يتحرر ببطيء جداً. هذه الفكرة أو الفرضية للمستودعات وللجاهزية داخل التربة ذات أهمية كبيرة من اجل فهم استعمال أسمدة P في إنتاجية المحصول. هذه المستودعات الثلاثة تعود إلى مركبات P التي توجد في التربة. مركبات فسفور التربة، ليس في محلول التربة وليس جزء الفسفور المتغير الذي يدمص بدرجة ضعيفة، يمكن عدها في المجاميع الأربعة الرئيسة:

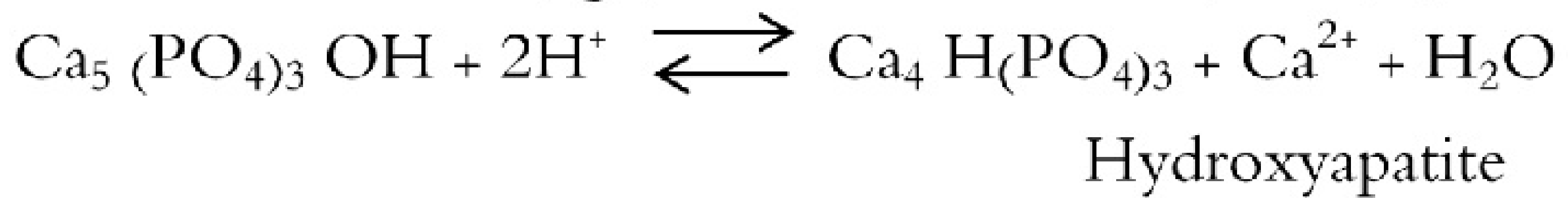
١ – فوسفات الكالسيوم ضعيفة الذوبانية (sparingly soluble) في الترب الكلسية والترب القاعدية، وفوسفات الحديد والألمنيوم ضعيفة الذوبانية في الترب الحامضية.

٢ – الفوسفات المدمصة بقوة بوساطة الأكاسيد المائية للحديد والألمنيوم.

٣ – الفسفور المقيد (occluded phosphate) بمركبات الحديد والألمنيوم.

٤ – الفسفور العضوي.

في الترب المتعادلة إلى الترب الكلسية تركيز الفسفور في محلول التربة يتحكم به بشكل رئيس تكون وانحلال فوسفات الكالسيوم التي بدورها تعتمد على درجة تفاعل التربة وعلى تركيز Ca^{2+} في محلول التربة. كلما كانت نسبة فوسفات الكالسيوم واطئة كانت درجة ذوبانيتها في الماء عالية. إن اتزان فوسفات الكالسيوم من المركب الذائب Calcium dihydrogen phosphate $[Ca(H_2PO_4)_2]$ إلى Hydroxyapatite غير الذائب بدرجة كبيرة، موضح في أدناه.



$$Ca_5(PO_4)_3OH + 2H^+ \rightleftharpoons Ca_4H(PO_4)_3 + Ca^{2+} + H_2O$$

Hydroxyapatite

من هذا الاتزان يكون واضحاً بأن H^+ تحفز ذوبانية فوسفات الكالسيوم في التربة وان Ca^{2+} ذات تأثير عكسي (Reverse Effect). وبهذا فان Hydroxyapatite يكون ذات ذوبانية واطئة جداً في الماء. إن التشابه بين Hydroxyapatite والـ Chloroapatite و Fluroapatite هو كونها قليلة الذوبان بالماء.



Chloroapatite $Ca_5(PO_4)_3Cl$



Fluroapatite $Ca_5(PO_4)_3F$

فوسفات الكالسيوم الموضحة في أعلاه قد توجد بعدة أشكال بلورية مع ماء البلورة أو بدونه (Water Of Crystallisution) في الطبقات العليا من الترب الكلسية والقاعدية الزراعية فوسفات الكالسيوم غير المتبلورة هي السائدة بوصف عام. في معظم الترب تركيز Ca^{2+} في محلول التربة يكون عالياً بما فيه الكفاية لتحول أي من $Ca(H_2PO_4)_2$ المضافة إلى التربة بسرعة إلى $CaHPO_4$، وهذا هو سلوك $Ca(H_2PO_4)_2$ المتواجدة في أسمدة الفسفور المختلفة. إن $CaHPO_4$ المتكونة بالرغم من درجة ذوبانيتها المنخفضة في الماء فإنها تجهز مصدر الفسفور سريع الجاهزية للنبات، وان الذوبانية المنخفضة تعني من الصعوبة غسل الفسفور. الابتايت فقط يتكون عندما

00:07:16

تركيز Ca^{2+} في محلول التربة عالياً. وهذه الحالة خاصة في الترب الكلسية الغنية بكربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) التي تكون درجة تفاعلها مرتفعة وكذلك يكون تركيز Ca^{2+} في محلول التربة مرتفعاً. في الترب المتعادلة والحامضية إدمصاص الفسفور هو العملية السائدة التي تؤثر في جاهزية الفسفور للنبات. إدمصاص الفسفور المتخصص((Specific Phosphate Adsorption يحصل بوساطة التبادل المشدود (Ligand Exchange).

التغيرات التي تحدث للفوسفور في التربة

يتعرض الفوسفور الموجود أصلاً في التربة أو المضاف على شكل أسمدة إلى سلسلة من التغيرات الناتجة عن التفاعلات المختلفة مما يؤثر في جاهزيته والكمية الممتصة منه من قبل النباتات. أفضل درجة تفاعل للتربة الذي يكون عنده الفوسفور في اعلى جاهزية بين ٥.٥ – ٧.٠، وعندما تزداد درجة تفاعل التربة عن ٧.٠ تحدث تفاعلات الامتزاز والترسيب للفوسفات على شكل فوسفات الكالسيوم والمغنيسيوم، أما عندما تنخفض درجة التفاعل عن ٥.٥ فيترسب على شكل فوسفات الحديد والألومنيوم. دور معادن الأطيان في تثبيت الفوسفور حيث نسبة التثبيت ازدادت مع زيادة نسبة معدن الكلورايت غير المتبلور، الحجوم الصغيرة من دقائق معدن الكاؤولينايت أبدت استعداداً أكثر في أمتزاز أو حجز الفوسفور من الحجوم الكبيرة، وان معادن الطين ازداد حجزها للفوسفور عندما ترافقها معادن الكربونات أو الأكاسيد الحرة أو كلاهما. إنّ زيادة محتوى التربة من كربونات الكالسيوم يقلل من قدرة حامض اللاكتيك والكلايكولك والسترك والسكسنيك التي تفرزها الأحياء الدقيقة لإذابة الابتايت. وقد وجدت علاقة خطية موجبة بين احتجاز الفوسفات ومحتوى التربة من الكربونات.

أوضحت العديد من الدراسات والتجارب العلمية بأن إضافة المادة العضوية إلى الترب الفقيرة بها لاسيما الترب الكلسية منها تعمل على زيادة جاهزية الفوسفور من خلال خفض درجة تفاعل التربة ولو بصورة محدودة. تحللها ينتج عنه غاز CO_2 الذي عند إذابته في الماء يكون حامض الكاربونيك الذي يعمل على خفض درجة تفاعل التربة ومن ثم إذابة المركبات الفوسفاتية فضلاً عن مقدرة المادة العضوية على تغليف غرويات الطين مانعة بذلك امتزاز أو حجز الفوسفور بين طبقاتها، كما تعمل على خلب الأيونات الموجبة ولاسيما Ca^{+2} فتقلل من ارتباطها بالفوسفور ومن ثم زيادة جاهزيته. وتؤثر نسجة التربة في جاهزية الفوسفور، فقد تبين أن الفوسفور الممتز في التربة المزيجة الطينية يكون أعلى من التربة المزيجة الغرينية. كما أن التربة خشنة النسجة تقلل من معدل انتشار الفوسفور إلى الجذور بعكس التربة الناعمة

النسجة. وعلى الرغم من الامتزاز أو الحجز العالي للفوسفور في التربة الناعمة النسجة، فقد وجدت علاقة طردية بين كمية الطين والفوسفور الجاهز في التربة علاقة خط مستقيم بين رطوبة التربة وامتصاص الفوسفور من قبل الجذور بسبب اعتماد عملية أنتشار الفوسفور من محلول التربة إلى سطح الجذر على حركة الماء في التربة.

تفاعلات الأسمدة الفوسفاتية في الترب

أولا: تفاعلات الامتزاز

تعرف ظاهرة الامتزاز بأنها تفاعل فيزو كيميائي بوساطته تصبح أيونات الفوسفات مرتبطة مع السطوح الخارجية والداخلية لدقائق التربة وبذلك تصبح اقل جاهزية للنبات وتقل بذلك الاستفادة من الأسمدة الفوسفاتية المضافة، وتؤثر ظاهرة الامتزاز في جاهزية الفوسفور وذلك من خلال خفض تركيزه في محلول التربة ومن ثم يتوقع الانخفاض في معدل الانتشار للفوسفور، ولذلك يجب استخدام الجوانب التطبيقية، مثال ذلك خواص التربة المتحكمة في قدرتها للامتزاز الفوسفات، وثوابت معادلات امتزاز الفوسفات عند حساب احتياجات النبات للفوسفور للحصول على النمو الأمثل، وعند إضافة الأسمدة الفوسفاتية فان قسماً من كمية الفوسفات يتم تثبتها والقسم الآخر سوف يتم ترسيبها بحيث تصبح غير جاهزة لنمو النباتات، وذلك نتيجة التفاعل بين الأسمدة والتربة ولقد تمت دراسة تفاعلات الأسمدة الفوسفاتية في التربة من قبل العديد من الباحثين. وتضمنت تفاعل الفوسفور مع الكالسيوم لتكوين فوسفات الكالسيوم في الترب الكلسية ويمكن التعبير عن امتزاز الفوسفور في التربة عن طريق ما يأتي

تلخيص البيانات العديدة لقيم الامتزاز من خلال استخدام عوامل قليلة يطلق عليها ثوابت المعادلات ذات العلاقة بالخواص الامتزازية في التربة.

الوصول إلى تصور أفضل حول عملية الامتزاز، ومن ذلك رسم المنحنيات التي تستند إلى بعض النماذج الفيزيائية لتمثل امتزاز المحاليل الأيونية على السطوح المشحونة ويمكن تصنيف سلوك الامتزاز بأنه عملية فيزو كيمائية نتيجة لقوى الربط بين سطوح دقائق التربة وجزيئات المادة الممتزة، وهي مشابهة لقوى (فاندرفال) للربط بين جزيئات الموائع وإن جميع المعادلات التي استخدمت لوصف امتزاز الفوسفات في التربة هي معادلات خصصت أصلا لامتزاز الغازات أو اشتقت منها لذلك يجب أخذ هذه الحقيقة بنظر الاعتبار عند تطبيق هذه المعادلات لوصف امتزاز الفوسفات على السطوح الصلبة لمكونات التربة، وقد أشارت البحوث إلى أن معظم الطرق التقليدية في قياس جاهزية الفوسفور لم تعد كافية لذا بات من

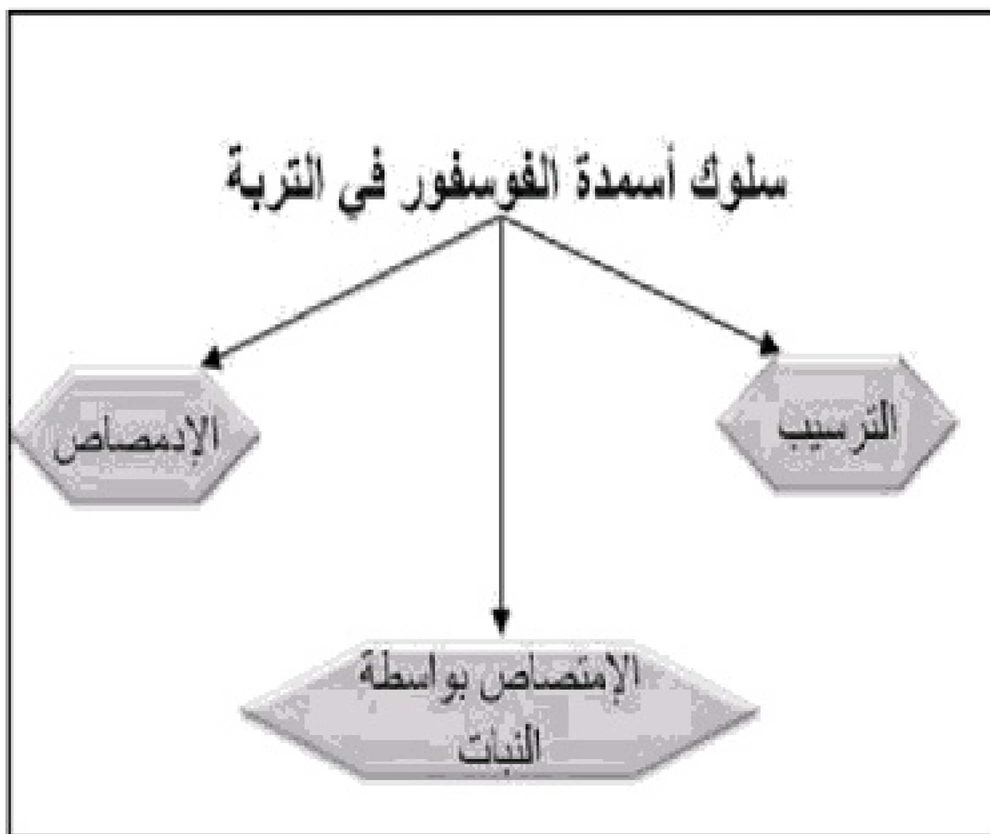
الضروري التحول نحو المفاهيم الثرموديناميكية والحركية لتكون قادرة على إعطاء تصور شامل وواسع لعملية الامتزاز والتحرر من التربة ولتوضيح ذلك استخدمت معادلات لانكماير السطحية ولانكماير ذات السطحين وفريندليخ، أن عملية امتزاز الفوسفات تمر عبر مسار تفاعلي مكون من أكثر من مرحلة الأمر الذي قادهم إلى الاستنتاج أن ترب الدراسة تمتز الفوسفات على نوعين من السطوح بحيث تمتز كمية قليلة من الفوسفات بطاقة ربط عالية متمثلة بسطح الامتزاز الأول، وكمية كبيرة من الفوسفات بطاقة ربط واطئة تمثل السطح الثاني للامتزاز، كما أن اختلاف الأشكال يعكس بوضوح تباين خصائص الترب الفيزو كيمياوية وأثرها على مسار وخواص الامتزاز الفوسفاتي وإمكانية استخراج المعايير الخاصة إزاء كل معادلة، والتي فيها طاقة الربط للتفاعل مع السطح الأول تراوحت من (٣- ١٢٧) سم^{3}.مايكرو غرام$^{-1}$ p وبمعدل (٦٥) سم^{3}.مايكرو غرام$^{-1}$ p، في حين تراوحت قيم طاقة الربط للفوسفات عند السطح الثاني من (٠.٠٣ —٠.٢٢) سم^{3}.مايكرو غرام$^{-1}$ p وبمعدل (٠.١٢٥) سم^{3}.مايكرو غرام$^{-1}$ p، الأمر الذي يشير إلى ارتفاع قيمة طاقة الربط للفوسفات عند سطح التفاعل الأول وتفوقه على طاقة ربط السطح الثاني بمقدار (١٩٠.١) مرة، بينما الأمر على العكس عند السطح الأول حيث تكون سعة الامتزاز اقل بكثير من سعة الامتزاز عند السطح الثاني وحيث تراوحت سعة الامتزاز الأولى من (٢٤ — ١٤٠) ملغم.كغم$^{-1}$ تربة وبمعدل (٨٢) ملغم.كغم$^{-1}$ تربة في حين تراوحت سعة الامتزاز عند السطح الثاني من (٧٢٠ - ٣١٢٠) ملغم.كغم$^{-1}$ تربة وبمعدل (١٩٢٠) ملغم.كغم$^{-1}$ تربة.



ثانيا: تفاعلات الترسيب

هذه التفاعلات نالت قسطا وافرا من الاهتمام في السنوات الأخيرة وخصوصا في الترب الكلسية والقاعدية لما لها من أهمية في معرفة مصير الأسمدة الفوسفاتية المضافة وتحولاتها، والأبحاث على الترب الكلسية أكدتان صيغة فوسفات الكالسيوم الثنائية هي الصيغة المتحكمة في ذوبان الفوسفور بالتربة، وتتحول مع مرور الزمن إلى صيغة فوسفات ثماني الكالسيوم، حيث يحصل على مركب بيتا ثلاثي فوسفات الكالسيوم (B.TCP) وثنائي فوسفات الكالسيوم. هذه المركبات هي التي تتحكم بجاهزية الفوسفات في التربة.

وأنّ هناك الكثير من الدراسات على تحولات الأسمدة الفوسفاتية وكيف أنها تتغير مع مرور الزمن، وقد بينت الأبحاث تحول DCPD إلى OCP ثم HA خلال الأربعة أشهر، في دراسة على نوعين من الترب، الأولى ترب كلسية غير مسمدة والأخرى مسمدة بـ ٥٠ جزءاً بالمليون من الفوسفور فان النتائج التي حصل عليها بعد ٢٦ أسبوعاً كانت للترب الكلسية بدون تسميد (١.٤٩-٢١.٢٠ppm) أما مع التسميد فقد تراوحت بين (٣.٨٨-٤٠.٨ppm). وفي دراسة أخرى بإضافة سماد KH_2PO_4 بتركيز (٥٠٠) جزءاً بالمليون إلى ترب كلسية لفترة حضانة (٢-٤-٨-٢٠) أسبوعاً اتضح في الدراسة وجود انخفاض في كمية الفوسفور الجاهز مع مرور الزمن، وكذلك اتضح من خلال الدراسة أن هناك تأثيراً لأيون الكالسيوم في محلول التربة وهذا له الأثر الكبير في تحديد جاهزية الفوسفور لغرض معرفة تحولات وتفاعلات الأسمدة الفوسفاتية.



وخلاصة ذلك إمكانية حصول تثبيت مشابه للفوسفور على صورة مركبات فوسفات الكالسيوم المختلفة في الترب القاعدية عندما تكون فعالية أيون الكالسيوم عالية. إمكانية الكشف عن وجود فوسفات الكالسيوم والحديد والألمنيوم يمكن ملاحظة التغير في فعالية ($PHPO_4$) طبقا لتغير الـ pH مباشرة.

ثالثا: عكس الامتزاز (تحرر الفوسفات) في التربة

Desorption phosphate from Soil

تستهدف دراسة حركيات عكس الامتزاز (Desorption) في التربة لتفسير جاهزية الفوسفور لجذور النباتات وأن نمو المحاصيل يعتمد على كمية الفوسفات المتحررة بعملية عكس الامتزاز من الطور الصلب، لذا عدت خواص التربة المتعلقة بظاهرة عكس الامتزاز ومنحنياتها ذات أهمية خاصة في معرفة العوامل التي تحدد كفاءة استخدام الأسمدة الفوسفاتية. ومن الجدير بالذكر أن الفوسفور المتحرر يكون اقل من الكمية الممتزة منه وللمواقع كافة مما يقودنا إلى الاستنتاج بان الترب تختلف في قابليتها على الاحتفاظ بكميات معتبرة من الفوسفور الممتز وبنسب متباينة ويعتمد ذلك على نوع التربة والتي ستكون فيما بعد للتحرر عند توافر الظروف المناسبة لها هذا من جهة ومن جهة أخرى فان منحنيات عكس الامتزاز تكشف لنا بوضوح أن تفاعلات امتزاز الفوسفور في الترب هي تفاعلات عكسية (Reversible). أن بعض

الترب تعاني من ظاهرة عدم استرداد الكميات الممتزة من الفوسفور والتي يطلق عليها ظاهرة تخلف الفوسفور (Hystersis). وإن زيادة حجم تخلف الفوسفور تزداد بزيادة التركيز المضاف. وقد يعزى هذا التثبيت لأحد الأمرين؛ الأول بسبب زيادة تثبيت الفوسفور بين صفائح المعادن الطينية مما يسبب ضغط التركيز العالي، الثاني بسبب الترسيب أو الامتزاز مع كربونات الكالسيوم لتنافسه على مواقع الامتزاز مع المواقع الأخرى وهذه العملية تسمى بالترسيب الكلي للفوسفور مع الأيونات الموجبة الموجودة على سطح الامتزاز، والذي يزداد في زيادة تركيز الفوسفور مع المحلول وان هذه المركبات تذوب أثناء تحرر الفوسفور إلى أن تفاعلات عكس الامتزاز في الترب تتأثر بدرجة كبيرة بصفات التربة الكيميائية والفيزيائية.

معيار عكس الامتزاز DI (Desorption Index)

إن معيار عكس الامتزاز للفوسفور يمكن توضيحه من (معادلة لانكماير) ذات السطح الواحد، وهي نسبة ميل منحنى عكس الامتزاز على ميل منحنى الامتزاز. وتم استخدام معيار DI للتعبير كماً عن قابلية الترب لتثبيت الأيون والاحتفاظ به. فإذا كانت قيمة هذا المعيار اكبر من (١) فإن هذا يعني أن تفاعلات الامتزاز غير عكسية، وإذا كان هذا المعيار اقل من (١) فإن هذا يعني أن تفاعلات الامتزاز عكسية وان تحرر الفوسفور يزداد بزيادة الكمية المتبقية على السطح أو الممتزة وإذا ما حاولنا ربط العلاقة بين قيم تركيز الفوسفور المتحرر/تركيز الفوسفور المتبقي على السطح مقابل قيم تركيز الفوسفور المتحرر وبذلك يتم الحصول على علاقة خطية وفق معادلة لانكماير ذات السطح الواحد وبمعدل تحديد عال.

العوامل المؤثرة في جاهزية الفوسفور

حجز الفوسفات في التربة يعتمد على الصفات الفيزيائية والكيميائية للتربة لا سيما محتوى وكمية الطين والمادة العضوية ووجود كربونات الكالسيوم وغيرها، إلى أن هنالك صعوبة للتنبؤ بجاهزية الفوسفور المضاف بصورة أسمدة للترب، وان قلة الجاهزية ترتبط مع طبيعة عملية الامتزاز والترسيب ولكن النتيجة النهائية لهذه العمليات هي دالة معقدة لمركبات التربة ومن أهم العوامل المؤثرة على جاهزية الفوسفور

١. كمية الطين ونسجه التربة
٢. كربونات الكالسيوم
٣. المادة العضوية
٤. القوة الأيونية لمحلول التربة
٥. درجة تفاعل التربة وغيرها

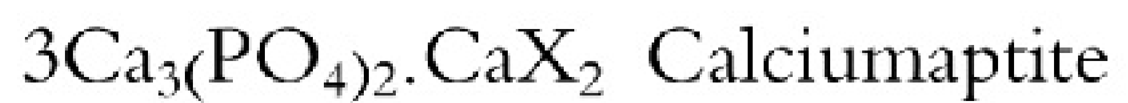
تأثير الأسمدة الفوسفاتية في جاهزية بعض العناصر الغذائية

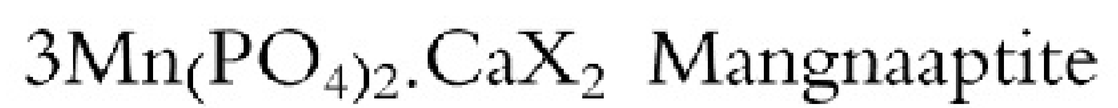
تعد العناصر المغذية الرئيسية النتروجين والفوسفور و البوتاسيوم بالإضافة إلى الكالسيوم أربعة من ستة عشر عنصرا أساسيا لنمو النبات والتي يحتاجها بكميات كبيرة نسبيا لذا تصنف ضمن العناصر المغذية الكبرى، ولما لها من أهمية كبيرة في زيادة الحاصل وتحسين نوعيته ولما يؤديه من وظائف مهمة داخل النبات حيث يتم امتصاصها من قبل النبات بالصور الأيونية الرئيسية $(Ca^{++}, K^{+}, HPO^{-}_{4}, H_2PO^{-}_{4}, NH^{+}_{4}, NO^{-}_{3})$ على التوالي، وان ما يضاف إلى التربة من هذه العناصر يتعرض جزء غير قليل منه للفقد بطرائق مختلفة أو تثبيت في التربة بفعل عوامل متعددة ذات المحتوى العالي من كربونات الكالسيوم ومنها ما يتعلق بالظروف الجوية المحيطة.

الصخور الفوسفاتية

تعد الصخور الفوسفاتية المصدر الأساسي الأكثر أهمية في صناعة الأسمدة الفوسفاتية. وهناك الكثير من المعادن التي تكون هذهِ الصخور أهمها وأكثرها شيوعاً هي معادن الأبتايت. إن اغلب صخور الابتايت تكون على شكل ترسبات تسمى بالفوسفورايت Phosphorite deposite والتي تتميز بكونها غروية وغالبا ما تكون متحدة مع كربونات الكالسيوم، فضلاً عن وجود العديد من الشوائب فيها كالحديد والامنيوم والسليكا غير انها بكميات أثرية. إن مجاميع الابتايت ليست ابتايت فلوري بل هي سلسلة من مجاميع الابتايت الكربوناتي يحدث فيها استبدال جزئي للفوسفات (PO_4^{3-}) بوساطة الكربونات (CO_3^{2-}) والفلور (F^-)، وكذلك استبدال الكالسيوم بوساطة الصوديوم والمغنيسيوم.

ويمكن تقسيم معادن الابتايت إلى:


$3Ca_3(PO_4)_2.CaX_2$ Calciumaptite


$3Mn(PO_4)_2.CaX_2$ Mangnaaptite


$3Sr_3(PO_4)_2.CaX_2$ Stroniaptite

وان الابتايت من المركبات التي يكون فيها الاستبدال شائعا، ومن الأيونات الشائعة الاستبدال هي (Mg و Sr و Na) والتي يحدث استبدالها بـ Ca و OH و Cl و V وAs بدلا عن P و $(F+CO_3)$ بدلا عن (PO_4). إن الصخور الفوسفاتية تمتد من الابتايت الفلوري $(Ca_{10}(PO_4)_6F_2)$ إلى الابتايت الكاربوني ذي الاستبدال الكامل. هناك عدة عوامل تؤثر في جاهزية الفوسفور من الصخر الفوسفاتي، إضافة الصخر الفوسفاتي مباشرة إلى الترب ذات درجة التفاعل

الحامضي تعطي استجابة واضحة وجيدة في كمية الفوسفور الجاهزة في التربة. في حين لا يكون الصخر الفوسفاتي فعالاً في الترب المتعادلة والقاعدية كمصدر مباشر للفوسفور ولاسيما للمحاصيل فيها حبوب. كما تختلف النباتات في مدى تأثيرها في كمية الفوسفور الجاهز من الصخر الفوسفاتي، وان النباتات تحافظ على طبيعتها الاليكتروليتية عن طريق إفراز الجذور أيون الهيدروجين مؤدية إلى خفض درجة تفاعل التربة أو قد تعمل العكس فترفع درجة تفاعل التربة عن طريق إفراز أيون OH^- في منطقة الجذور. إفرازات الجذور الحامضية تزيد من معدل إذابة الصخر الفوسفاتي عن طريق خفض درجة تفاعل التربة. زيادة تنعيم الصخر الفوسفاتي يجعل منه اكثر عرضة للتفاعلات التي تحدث في التربة بسبب زيادة المساحة السطحية للدقائق.

الفسفور في تغذية النبات

يحتاجه النبات بكميات كبيرة ويعتبر الفسفور ضروري جدا في بعض مراحل نمو النبات وخاصة في المراحل الأولى من نموه ولفترة تقارب الشهرين ويحتاجه النبات في مرحلة التزهير يقوم عنصر الفسفور بتنظيم التفاعلات الكيموحيويه لعملية التمثيل الضوئي والبروتوبلازم والتنفس حيث يأخذ من قبل النبات على شكل أيون(H_2PO_4) فوسفات ثنائي الهيدروجين و (HPO_4) فوسفات أحادي الهيدروجين وله دور مهم

١. يعتبر عنصر الفسفور منظم لتفاعلات عملية التمثيل الضوئي وتمثيل البروتوبلازم وعملية التنفس والتكاثر وتكوين البذور ونضج النبات.

٢. يشترك في تركيب المركبات الغنية بالطاقة· .

٣. يدخل الفسفور في تركيب مشتقات الدهون والبروتينات النووية ويعمل كمرافق إنزيمي لبعض الأنزيمات.

٤. يتواجد بنسبة عالية في البذور والثمار· .

٥. يعمل الفسفور علي الإسراع في عملية الإزهار بينما النتروجين يؤخر الإزهار

٦. من العناصر المتحركة داخل النبات مثل النتروجين ولذلك يوجد بكثرة في الأنسجة المرستيمية الفوسفور عنصر ضروري لعملية انقسام الخلايا.

٧. يدخل في تركيب السايتوبلازم بالخلية لأنه من مكونات الفوسفولبيدات التي تلعب دورا هاما في بناء البروتوبلازم.

٨. يدخل في تركيب النواة في الخلية.

00:07:45

٩. يدخل في تركيب الأحماض النووية لأنه يدخل تركيب النيوكليتيدات التي تعد الحجر البنائي للأحماض النووية، ونقل الصفات الوراثية عن طريق DNA و RNA .

١٠. يدخل في تركيب مشتقات الدهون.

١١. يلعب دورا هاما في الفترة الضوئية أثناء عملية التمثيل الضوئي.

١٢. يدخل في تكوين مركبات الطاقة في النبات مثل Adenosine Diphosphate (ADP)، Adenosine Triphosphate (ATP).....الخ.

١٣. يدخل في تركيب بعض الأنزيمات التي تقوم بهدم السكريات أثناء عملية التنفس. وكذلك بعض المرافقات الإنزيمية مثل NAD وNADP.

١٤. وجود الفوسفور بنسبة عالية بالأشجار يؤدي إلى الإسراع من إزهار الأشجار.

١٥. وجد أن الفوسفور يعطى مناعة لأشجار الفاكهة من البرد.

١٦. الفوسفور يسرع من التكوين المبكر للجذور ويزيد من نموها وانتشارها بالتربة.

١٧. يجعل النبات يبدأ نموه مبكرا وسريعا وقويا.

١٨. يسرع من نمو الثمار ونضجها مبكرا.

١٩. يبكر بدخول النباتات في الطور الزهري وينشط عملية تكوين البذور بالثمار إذ وجد إن أكثر من ٥٠% من كمية الفوسفور الكلية بالنبات (بالشجرة) توجد في الثمار والبذور وهذا يفسر احتياج أشجار الفاكهة ذات الثمار البذرية إلى كميات سماديه فوسفورية أكثر من الأشجار التي تعقد ثمارها بكريا

٢٠. تحليل الكربوهيدرات والمواد الناتجة عن عملية البناء الضوئي

٢١. يشترك الفوسفور مع النتروجين في وظائف عديدة منها تكوين الأغشية النباتية الحيوية (غشاء البلازما وغشاء الفجوة والمايتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء) وفي تكوين المركبات الغنية بالطاقة $NADH_2$ و $NADPH_2$وATP والتي تنتج من عملية التركيب الضوئي عن طريق الفسفرة الضوئية Photo Phosphorylation أو من عملية التنفس بالفسفرة التأكسدية Oxidative Phosphorylation ويدخل في تكوين المركبات شبيهة بالـ ATP (Adenosine triphosphate)ومنها المركبCTP (Cytidine triphosphate) الضروري لتكوين الفسفولبيدات ومركب UTP (Uridine triphosphate) الذي يشترك في تكوين السكروز والكالوس Callose وكذلك مركب GTP (Guanidinetriphosphate) الذي يشترك في

تكوين السليلوز – كما يشترك الفوسفور مع النتروجين في تكوين الأحماض النووية DNA الحامل للصفات الوراثية وفي الأحماض النووية RNA المهمة في عملية تكوين البروتين.

الامتصاص والانتقال **Absorption and translocation**

جذور النبات قادرة على امتصاص الفسفور من المحاليل ذات التركيز الواطئ جداً من الفسفور أي بضع ملمول/م^{٣} فقط. بصورة عامة تركيز الفسفور في السايتوسول لخلايا النبات هو بالمدى ٥ إلى ٨ مول/م^{٣} وهي بذلك تقارب ١٠٠٠ ضعف اكبر مما هو عليه في محلول التربة. بهذا فان الفسفور تمتصه خلايا النبات ضد التدرج بالتركيز الحاد. الامتصاص هو نشط وحيوي، ويساعد بوساطة الانتقال المساعد لل H^+. النتائج الحركية (Kinetic data) تقترح وجود نوعين من النواقل ذات إلفه مختلفة للفسفور المعدني (Pi)، الأول ذات إلفه عالية ذو K_M ٣ إلى ٥ ملمول/م^{٣} والأخر ذات نظام إلفه واطئة ذو K_M ٥٠ إلى ٣٣٠ ملمول/م^{٣}. دراسات جزيئية قد أكدت وجود جينات متعددة تسيطر على نقل الإشارات وتحل الشفرات الخاصة بنواقل الفسفور وتظهر مختلفة. بعض نواقل الفسفور تنظم بقوة عندما يكون تجهيز الفسفور غير ملائم وانه تحت مثل هذه الظروف نواقل الفسفور في الغشاء ذات الألفة العالية أما تنشط أو تختزل derespressed. أنظمة امتصاص الفسفور الأخرى هي مكون أساسي (constitutive) وهذا يعني بانها لها الأسبقية بالتواجد وانها لا تتأثر بتغير تركيز الفسفور في الوسط الغذائي، درجة التفاعل في الـ Apoplast تسيطر على معدل امتصاص $H_2PO_4^-$. في ذات التركيز لل $H_2PO_4^-$ في الـ apoplast (٢.٥ ملمول/م^{٣}) امتصاص الفسفور عند درجة تفاعل ٤.٠ كان ثلاثة أضعاف اكبر مما هو عليه عند درجة تفاعل ٦.٠. النتائج تتماشى مع النظرة التي تقول بان النواقل المحملة بالبروتونات تعمل في امتصاص الفسفور. وهناك شك فيما اذا مركبات الفسفور العضوية تمتصها الجذور لأي مدى. الفسفور في الـ Polyphosphates يؤخذ من جذور نباتات الشعير الحديثة التكوين بعد تحلله مائياً إلى شكل Orthoposphate. دراسات حديثة استخدمت ^{31}P NMR spectroscopy قد وفرت معلومات كمية على توزيع الفسفور في الخلايا. تركيز الفسفور في السايتوسول يحافظ عليه بتراكيز إلى حد ما ثابتة وبالمدى ٥ إلى ٨ مول/م^{٣} بغض النظر عن تركيز الفسفور الخارجي في الوسط الغذائي باستثناء حالة النقص الشديد بالفسفور. وبشكل مغاير فان تركيز الفسفور الفجوي الذي يمثل الامتصاص الفائض وان خزن الفسفور يختلف بمدى واسع. تحت النقص الكبير جداً بالفسفور (starvation) على الأغلب قد لا يمكن تقديره لتركيزه الواطئ جداً (undetectable)

بينما عند حالته العالية، قيم عالية قد تصل إلى ٢٥ مول/م^{٣} يمكن الوصول لها. الفسفور سريع الحركة في النبات ينتقل إلى الاتجاهات العليا والسفلى منه. الفسفور الذي تمتصه الجذور ينتقل بالخشب بشكل رئيس إلى نصل الورقة حديثة وسريعة النمو إذ هناك حاجة له لتمدد الورقة والنمو. في دراسة حول انتقال P وتمثيله في نبات Castorbean السليم، لوحظ بان الأوراق الحديثة التكوين قد جهزت ليس فقط بالفسفور الذي تمتصه الجذور بل أيضا بالفسفور من الأوراق القديمة، وهذا يحصل عندما يكون امتصاص الفسفور بواسطة الجذور غير كاف لتلبية احتياجات الأوراق حديثة التكوين. إعادة نقل الفسفور من التحلل المائي للفسفور العضوي يجهز بوساطة اللحاء. وإعادة تحريكه من الأوراق الناضجة ينقل بوساطة اللحاء كذلك ولكن يوجه باتجاه الجذور. الفسفور المعدني يتواجد في عصير اللحاء بتراكيز كبيرة ويشكل معظم الفسفور الكلي. أن تركيز الفسفور الذي يدور في اللحاء من الأجزاء العليا للنبات إلى الجذور يعمل بوصفه إشارة للتغذية الراجعة لتنظيم امتصاص الفسفور. التراكيز العالية من الفسفور في اللحاء تحفز من خلال الطلب الواطئ للفسفور من الأجزاء العليا للنبات مما يقلل أو يكبح امتصاصه. وبشكل معاكس التراكيز الواطئة للفسفور ترتبط بالطلب العالي من الأجزاء العليا مما يحفز امتصاص الفسفور. التنظيم يظهر بانه يعتمد على تركيز الفسفور في الفجوة لخلايا الجذر. يؤخر تحت التغير الواسع والسريع لرجيم (حمية التغذية بالفسفور (fluctuating P nutritional regimes) يحصل في النباتات النامية في المحلول المغذي. وهذا يوضح بانه عندما يعاد التجهيز بالفسفور إلى النباتات التي تعاني من نقص الفسفور، فانه يحصل امتصاص سريع وغير مسيطر عليه للفسفور مما يحدث أعراض سمية الفسفور في الأجزاء العليا من النبات. نقص الزنك يستطيع أيضا وبصورة مشابهة يقود إلى سمية P من خلال إعاقة انتقال الفسفور من الأجزاء العليا إلى الجذور وهذا يتلف الإشارة (signal) التي تسيطر على امتصاص الفسفور وتنظمه.

أعراض نقص الفسفور في النبات

١. صغر حجم النبات مع لون اخضر شديد غير لامع بعد ذلك يتحول إلى لون أرجواني أو برنزي ويصاحب

٢. عروق الأوراق السفلى وكذلك أعناقها يظهر عليها اللون الأرجواني ينقص تكوين البراعم التي تعطي ثمار

٣. الفوسفور عنصر متحرك داخل النبات، لذا تظهر الأعراض على الأوراق القديمة

٤. تتوقف عمليات تكوين البروتينات والأحماض النووية بسبب نقص الطاقة التي يوفرها الفوسفور

٥. تراكم مركبات النتروجين غير العضوية في أنسجة النبات.

٦. إنتاج نباتات صغيرة الحجم متأخرة النمو.

٧. ضعف معدل نمو الجذور.

٨. يكون لون الأوراق اخضر مزرق مع ظهور بقع قرمزية اللون. وتظهر حالة النقص على الأوراق القديمة أولا لان عنصر الفوسفور عنصر متحرك داخل النبات(mobile).



٩. تأخر الإزهار والإثمار مع قلة محصول النبات.

١٠. تأخر نضج الثمار.

١١. زيادة أضرار البرودة على النبات.

١٢. ظهور حالة الضعف العام في النمو الخضري والثمار للنبات

١٣. ذلك تساقط الأوراق في وقت مبكر ونقص الفوسفور الشديد يؤدي إلى نضج الثمار مبكرا.

١٤. نقص الفوسفور يؤدي إلى قلة العصير وصغر الثمار وخشونة قشرة الثمرة لان عنصر الفوسفور متحرك داخل النبات.

معالجة نقص الفوسفور

يعالج نقص الفسفور بإضافة الأسمدة الفوسفاتية مثل السوبر فوسفات الثلاثي أو فوسفات الأمونيوم الأحادية أو فوسفات الأمونيوم الثنائية إلى التربة أو مع مياه الري أو عن طريق الرش بالنسبة للذائب

جاهزية الفسفور واحتياجات المحاصيل

منذ بدء إضافة الأسمدة المعدنية إلى التربة كانت الأسمدة الفوسفاتية دائماً ذات دور مهم. وانها فعلاً حتى في الوقت الحاضر هناك بعض المناطق ذات كفاءة عالية ولكنها زراعياً فقيرة نتيجة لنقص الفسفور فيها. الفسفور في التربة بسرعة يصبح غير جاهز للامتصاص من جذور النبات وان P هو العنصر الأصعب حركة في التربة من بين العناصر الغذائية للنبات في التربة.

كمية الفسفور الموجودة في محلول التربة وحتى في الأتربة ذات المستويات العالية من الفسفور الجاهز تتراوح ما بين ٠.٣ إلى ٣كغم فسفور/هكتار. المحاصيل ذات النمو السريع تمتص كميات من الفسفور تقترب من ١كغم فسفور/هكتار في اليوم الواحد، ومن هذا يتضح بان الفسفور في محلول التربة يجهز لعدة مرات في اليوم وذلك عن طريق تحرر الفسفور (labileP). كمية هذا الجزء الموجودة في طبقة التربة العليا

(٢٠سم) هي بالمدى ١٥٠ إلى ٥٠٠كغم P/هكتار. معدل تحرر الفسفور في الأتربة ذات المقدرة التنظيمية العالية للفسفور يكون عالياً ولذا فان مثل هذه الأتربة تكون قادرة وبصورة جيدة على تنظيم التغير في تركيز الفسفور في محلول التربة أثناء فصل النمو. التركيز الأمثل للفسفور في محلول التربة لهذا ربما يكون واطئاً اذا كانت مقدرتها التنظيمية للفسفور عالية والعكس صحيح. الترب التي تميل إلى تثبيت الفسفور القوي (الإدمصاص إلى Sesquioxides ومعادن الطين) في الكثير من الأحيان تحتاج إلى إضافات كبيرة من السماد الفوسفاتي من اجل التغلب على تأثير التثبيت. مستويات متزايدة عالية تضاف من اجل منحنى التنظيم الحاد للفسفور. وهذه هي الحالة بصورة خاصة في ترب Oxisols و Ultisoils المتطور تحت الظروف الاستوائية. في هذه الترب المثبتة للفسفور بقوة يوصى بتصحيح درجة تفاعل التربة مادام إدمصاص الفسفور يكون بصورة خاصة قوياً عند درجة التفاعل الواطئة، وبهذا فان إضافة اللايم هو المقياس الكفوء لزيادة فسفور التربة الجاهز من خلال خفض الإدمصاص القوي للفسفور وجعله فسفور مدمص بقوة اقل. التأثير الموجب للايم في شفاء (Recovery) التربة وإصلاحها مع السماد الفوسفاتي. ان الاحتياج للسماد الفوسفاتي يختلف بدرجة كبيرة بين الدول النامية صناعياً وبين الدول المتطورة صناعياً. في الدول الأكثر تطوراً في الصناعة الأسمدة الفوسفاتية قد استعملت من مدة طويلة وان تربها غنية بالفسفور الجاهز.

بصورة عامة معدلات الفسفور المضافة إلى المحاصيل المزروعة تكون بمعدل ٢٠ إلى ٨٠كغم P/هكتار طبقاً لنوعية المحصول وظروف التربة من حيث محتواها من الفسفور الجاهز. في الترب ذات المقدرة العالية على إدمصاص الفسفور فان المستويات من ١٠٠ إلى ٢٠٠كغم P/هكتار قد تضاف.

المحاصيل ذات معدل نمو عال وتنتج كميات كبيرة من المادة العضوية تحتاج إلى مستوى اعلى من الفسفور الجاهز في التربة من تلك التي معدل نموها واطئ. المستوى العالي من الفسفور الجاهز في الترب تحتاج إليه محاصيل الذرة والجت والحشائش ذات الإنتاجية العالية والبطاطا والبنجر السكري. فضلاً عن ذلك كل أنظمة الزراعة الكثيفة تحتاج إلى فسفور بكميات كبيرة. الفسفور بصورة خاصة مهم للمحاصيل البقولية وذلك لتأثيره في نشاط البكتريا (Rhizobium) في المرج الذي يحتوي على نباتات مختلفة يكون مهماً المحافظة على مستوى الفسفور في التربة بدرجة عالية للمحافظة على بقاء النباتات البقولية. اذا كان تجهيز محاصيل الحبوب بالفسفور غير كاف في مراحل النمو الأولى فانه يحصل نقص في عدد الرؤوس بوحدة المساحة وهذا يؤدي إلى نقصان الحاصل. التجهيز المناسب بالفسفور قد يعادل تأثير الإجهاد المائي

الخفيف في التفرعات ونمو الورقة لنبات الحنطة. الفسفور مهم ولاسيما في عقد الثمار ونوعيتها ومقاومتها للأمراض. التغذية غير المناسبة بالفسفور قد تؤخر نضج الثمار. التجهيز الوافر (Ample) بالفسفور للبطاطا يحفز استره الفسفور للنشا في درنات البطاطا وبهذا يحسن من نوعية النشا.

الأسمدة الفوسفاتية

الأسمدة الفوسفاتية الحاوية على الفسفور بشكل رئيس والمستعملة في الوقت الحاضر تختلف في تركيبها الكيميائي ودرجة ذوبانها كما موضح في الجدول (٢٠). سماد السوبر فوسفات يصنع بمعاملة الصخور الفوسفاتية بحامض الكبريتيك وينتج عن هذه المعاملة خليط من $Ca(H_2PO_4)_2$ والجبس ($CaSO_4$). في تصنيع السوبر فوسفات الثلاثي يستعمل حامض الفسفوريك بدلاً من حامض الكبريتيك والناتج عن هذه العملية هو $Ca(H_2PO_4)_2$.

تصنع فوسفات الأمونيوم الأحادية والثنائية بإضافة الأمونيا إلى حامض الفسفوريك. السماد (Basic slags) $Ca_3(PO_4)_2.\ CaO + CaO.\ SiO_2$ هو ناتج ثانوي لصناعة معدن الاستيل وفي هذه العملية يرتبط الفسفور الموجود في المعدن الخام مع CaO والسليكات أثناء عملية الصهر، ولذا فان السماد Basic slags أيضا يحتوي على الكالسيوم على شكل أوكسيد وسليكات. وفضلاً عن هذه المواد فان هذا السماد يحتوي على المغنيسيوم وعدد من العناصر الثقيلة مثل الحديد والنحاس والزنك. السماد Sintered phosphate من نوع Rhenania يصنع من تحطم صخور الفوسفات مع Na_2CO_3 والسليكا في فرن ذات حركة دائرية عند درجة حرارة هي ١٢٥٠ درجة مئوية. المحتوى الرئيس لهذا السماد الفوسفاتي هو $CaNaPO_4$ و $CaSiO_4$ ممزوجة في تركيب بلوري. الأسمدة الفوسفاتية الذائبة في الماء والـ basic siag والـ Sinter phosphate هي أسمدة فوسفاتية ملائمة لمعظم الأتربة. صخور الفوسفات تختلف من حيث قيمتها السمادية وذلك اعتماداً على مصدرها. الاباتيت البلوري الصلب هو غير ذائب ولهذا فانه لا يستعمل بوصفه سماداً. صخور الفوسفات الناعمة المطحونة فقط قد يمكن استعمالها بوصفها أسمدة تحت ظروف خاصة. الصخور الفوسفاتية الناعمة تتكون بشكل رئيس من الابتايت مع فقط جزء ثانوي من فوسفات Fe^{III} وفوسفات الألمنيوم، تطحن من اجل حصولها على الذوبانية في التربة التي تكون مناسبة لا هداف إضافة السماد الفوسفاتي.

الجدول ٢٠: الأسمدة الفوسفاتية الرئيسة المباشرة

الاسم	التركيب الكيميائي	الذوبان	تركيز $\%P_2O_5$
السوبرفوسفات	$Ca(H_2PO_4)_2+CaSO_4$	يذوب في الماء	١٨-٢٢
السوبر فوسفات الثلاثي	$Ca(H_2PO_4)_2$	يذوب في الماء	٤٦-٤٧
فوسفات الأمونيوم الأحادية	$NH_4H_2PO_4$	يذوب في الماء	٤٨-٥٠
فوسفات الأمونيوم الثنائية	$(NH_4)_2HPO_4$	يذوب في الماء	٥٤
فوسفات المغنيسيوم المندمجة	Ca-Mg phosphate	يذوب في حامض الستريك	٢٠

ذوبانية الصخور الفوسفاتية تعتمد بدرجة كبيرة على المصدر الأصل. الذوبانية والجاهزية من حيث علاقتها بالمصدر تنخفض طبقاً للسلسلة الأتية:

Carolina > Gsfsa > Sechura > Central florida > Huila > Tennessee

ذوبانية الصخور الفوسفاتية الناعمة تعود إلى الدرجة التي يستبدل بها الفسفور بالكربونات في التركيب البلوري للابتايت. مثل هذا التركيب الكربونات – الابتايت (Carbonate – apatites) يسمى بال Francolite، وذوبانيته ترتفع بزيادة جزء الكربونات.إلى جانب الصفات الفيزيائية والكيميائية لمختلف الصخور الفوسفاتية الناعمة فان ظروف التربة، المناخ والمحاصيل قد لها تأثير حاسم (decisive) في ذوبانيتها وكذلك أيضا في كفاءتها التسميدية. كقاعدة الانحلال (dissolution) يعتمد على نواتج الذوبانية للفسفور، H^+ وCa^{2+} الذائبة في محلول التربة والتي تعمل على الصخور الفوسفاتية.

إضافة الفسفور

كمية الفسفور التي يستفاد منها النبات صغيرة نسبياً اقل من ١٥% من السماد الفوسفاتي المضاف إلى التربة والتي تمتص بوساطة المحصول الذي ينمو مباشرة بعد الإضافة. المتبقي يتحول إلى غير ذائب في جزء الـ non labile. الممتص من هذا الفسفور بوساطة المحاصيل على مدة سنين متعاقبة يصبح اقل فأقل. لكي تبقي عملية التثبيت بحدها الأدنى وللتأكد من حصول امتصاص كفوء للفسفور، نستطيع التوصل لذلك من خلال إضافة السماد الفوسفاتي على شكل حبيبات أو بوساطة التلقيم (band) داخل التربة قرب الجذور. وبهذا فان الفسفور يتركز في حجم صغير من التربة ومحدود مشبعاً المقدرة الإدمصاصية للتربة بعنصر الفسفور ويزيد من الفسفور الذائب في التربة. التأثير الإيجابي لطريقة تلقيم الفسفور مقارنة بطريقة النثر. المبدأ المهم الآخر في إضافة الفسفور هو أن سطح الجذور يحتاج إلى امتصاص معدلات عالية من الفسفور في بداية المرحلة الأولى من النمو اذا ما أريد الحصول على حاصل عال. إضافة السماد الفوسفاتي كدفعة بداية (starter application) تكون مؤثرة بدرجة كبيرة. الأسمدة الفوسفاتية يمكن تضاف في أي وقت من السنة عندما تكون سعة التربة التثبيتية للفسفور واطئة. وعندما تكون هذه هي الحالة، فان مواد الفسفور الذائبة في الماء تضاف في الربيع. في الأترية الحامضية ذات المقدرة القوية على إدمصاص الفسفور المتبقي من سماد السوبرفوسفات ينخفض معنوياً في مدة بضعة اشهر. وفي مثل هذه الترب سماد الفسفور يضاف قبل البذار مباشرة. وهذا يقلل من تثبيت السماد الفوسفاتي إلى حده الأدنى ويسمح للمحصول بأفضل فرصة للتزاحم مع التربة على استخدام الفسفور. في الأتربة التي يكون مستوى الفسفور الجاهز فيها مناسباً، فان إضافة الفسفور يمكن ان تكون كل سنتين بدون حصول أي تأثير كبير على الحاصل. وهنا كمية الفسفور المضافة يجب ان تكون مقاربة إلى مجموع الفسفور المراد إضافته للسنتين كل سنة على انفراد. حركة الفسفور واطئة لذا فان هناك حركة بطيئة جداً لعمق مقد التربة وان الفسفور يميل إلى التجمع قريباً من سطح التربة. ولهذا فجذور النبات يزداد نموها وتفرعاتها (Proliferate) في المحور السطحي الغني بالفسفور الذي فيه حجم ماء التربة الجاهز للنبات هو أيضا يخزن. تحت الإجهاد المائي فسفور التربة يصبح غير جاهز. المردود الإيجابي لوضع السماد الفوسفاتي في داخل التربة ولاسيما مع الأسمدة ذات الذوبانية الواطئة في الماء يستحسن.

الأسمدة الفوسفاتية

تقسم الأسمدة الفوسفاتية بصورة عامة إلى ثلاث مجاميع حسب درجة ذوبانها في الماء



أسمدة فوسفاتية قابلة للذوبان في الماء.

أسمدة لا تذوب في الماء وصعبة الذوبان في الأحماض الضعيفة.

أسمدة لا تذوب في الماء وصعبة الذوبان في القواعد الضعيفة.

مميزات الأسمدة الفوسفاتية

١. اختلاف قابلية الذوبان

٢. الانتشار ويعد من الأمور الديناميكية الرئيسة لمعرفة حركة الفوسفور وجاهزيته للنبات.

٣. الأثر المتبقي للسماد الفوسفاتي في التربة.

٤. pH لمحلول السماد في التربة.

موعد إضافة الأسمدة الفوسفاتية يتحدد وفقا للعوامل الآتية

١. احتياج النبات وطول موسم النمو

٢. طبيعة إذابة السماد

٣. حجم حبيبة السماد

٤. الأيون المرافق للفوسفور

٥. خصائص التربة الكيميائية والفيزيائية

٦. وعموما يجب ملاحظة النقاط الآتية عند التسميد

٧. يفضل استخدام طريقة الخطوط بدل النثر

٨. لا يفضل استخدام الأسمدة الناعمة (على هيئة مسحوق)

٩. يفضل استخدام الأسمدة الحبيبية ذات درجة الذوبان العالية في الترب الكلسية

١٠. تضاف الأسمدة الفوسفاتية مع الأسمدة النيتروجينية والبوتاسية

تصنيع الأسمدة الفوسفاتية

يعتمد إنتاج الأسمدة الفوسفاتية أساساً على الصخور الفوسفاتية، ويحتاج تحويل الصخور الفوسفاتية $Ca_{10}F_2(PO_4)_6\ xCaCO_3$ إلى أسمدة فوسفاتية عمليات كيميائية يدخل الحامض أساساً في هذه العملية. حيث يخلط الصخر الفوسفاتي مع الفحم والسيلكا في فرن حراري ويسخن

00:08:06

بواسطة الكهرباء في أقماع احتراق ويكون مركب مخلوط من الفوسفور والحديد ومواد أخرى ثم يجمع الفوسفور المتطاير من أسفل الفرن ويمر على ماء ليكون أحماض فوسفورية تختلف في نقاوتها ومحتواها من الفوسفور. وتعتمد نقاوة الفوسفور في صخر الفوسفات على نسبة كربونات الكالسيوم الموجودة في الصخر، حيث كلما زادت نسبة كربونات الكالسيوم كلما قلت نسبة الفوسفور في الصخر.

ومواصفات وتصنع مركبات الأسمدة الفوسفورية الأساسية كما يلي

حامض الفوسفوريك

يصنع من إضافة حامض الكبريتيك والماء إلى صخر الفوسفاتي

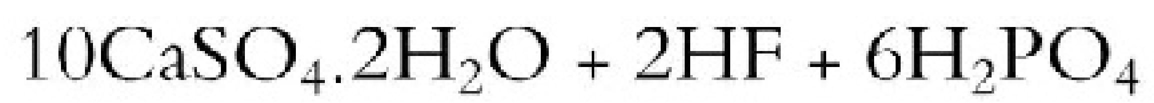




$$Ca_{10}F_2(PO_4)_6 + 10H_2SO_4 + 2H_2O$$

ماء + حامض كبريتيك + صخر فوسفات

حيث يتكون......



$$10CaSO_4.2H_2O + 2HF + 6H_2PO_4$$

حامض الفوسفوريك + غاز الفلور + جبس

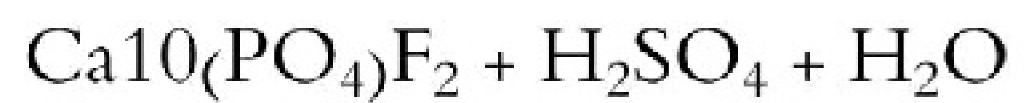
يمكن حساب الفوسفور في الأسمدة كالآتي

تحويل الفوسفور إلى خامس أكسيد الفوسفور ٢.٢٩ $P_2O_5 = P X$

سماد السوبر فوسفات، وفيه نوعان

سوبر فوسفات S P

ينتج السوبر فوسفات العادي من خلط نسب متساوية من حامض الكبريتيك وصخر الفوسفات المطحون كالآتي

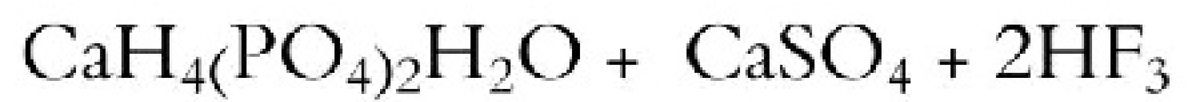


$$Ca10(PO_4)F_2 + H_2SO_4 + H_2O$$

ماء + حامض الكبريتيك + صخر الفوسفات

حيث يتكون......





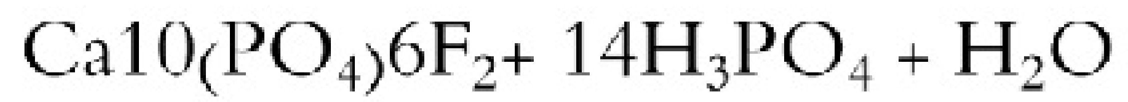
$$CaH_4(PO_4)_2H_2O + CaSO_4 + 2HF_3$$

غاز الفلور + جبس + سوبر فوسفات

ويحتوي على حوالي ٢٠% خامس أكسيد الفوسفور

سوبر فوسفات الثلاثي T S P

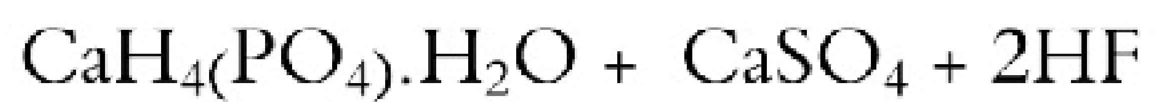
ويصنع بخلط حامض الفوسفور مع صخر الفوسفات



$$Ca10(PO_4)6F_2 + 14H_3PO_4 + H_2O$$

ماء + حامض الفوسفور + صخور الفوسفات

حيث يتكون......



$$CaH_4(PO_4).H_2O + CaSO_4 + 2HF$$

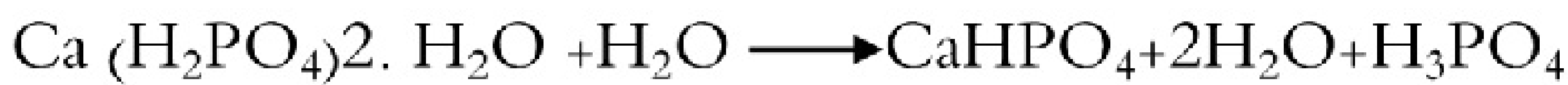
غاز الفلور + جبس + سوبر فوسفات

يحتوي على ٤٦% خامس أكسيد الفوسفور

سماد السوبر فوسفات، له تأثير حامضي لكون المحلول المنتشر من الحبيبة السمادية في أثناء ذوبانها يكون حامضيا جدا درجة التفاعل تتراوح بين (١.٤٨-١.٥) وهذا سيؤثر في إذابة بعض المركبات كمركبات الكالسيوم ومن ثم سيؤدي ذوبانها إلى التقليل من فعالية الفوسفات بعد الارتباط بها. أما الصفات الفيزيائية التي يتصف بها هذا السماد فهي عملية نقله وخزنه الخالية من المشاكل، فضلا عن ذوبانيته العالية في الماء إذ تصل نسبة ذوبانه إلى أكثر من (٨٥%) من الكمية الجاهزة المعلنة ويكون التفاعل النهائي متعادلاً في التربة ويمكن توضيح تفاعلات سماد السوبر فوسفات الاعتيادي كما في المعادلات التالية:



$$Ca(H_2PO_4)_2.H_2O + H_2O \longrightarrow CaHPO_4.2H_2O + MTP$$



$$Ca(H_2PO_4)2.\ H_2O + H_2O \longrightarrow CaHPO_4 + 2H_2O + H_3PO_4$$

الذي يتحول بعد فترة قصيرة إلى الآتي



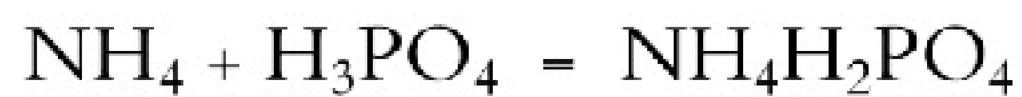
$$Ca(HPO_4)_2.2H_2O + XH_2O \longrightarrow Ca\ HPO_4 + STP$$

إن مركب (STP) عبارة عن (Stable tirble point) ذو قيمة PH=1.01 وان (X) عدد جزيئات الماء اللازمة للتفاعل، أما MTP هو عبارة عن حامض الفوسفوريك المتحرر من التفاعل وإن تكوين (STP) يعني المزيد من حامض الفوسفوريك الذي يخفض الـ pH = 1.01

٣. DAP & MAP

أ. فوسفات الأمونيا الأحادية M A P أو فوسفات أحادي الأمونيوم

يحضر بإضافة الأمونيا مع حامض الفوسفور



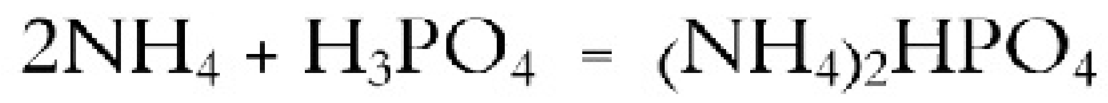
$$NH_4 + H_3PO_4 = NH_4H_2PO_4$$

M A P = حامض الفوسفور + أمونيا

يحتوي على ٤٨–٥٥% خامس أكسيد الفوسفور و ١١% نيتروجين

فوسفات الأمونيا الثنائية D A P أو فوسفات ثنائي الأمونيوم

يحضر بإضافة الأمونيا مع حامض الفوسفور وذلك بإضافة كمية أكبر من الأمونيا



$$2NH_4 + H_3PO_4 = (NH_4)_2HPO_4$$

D A P = حامض الفوسفور + أمونيا

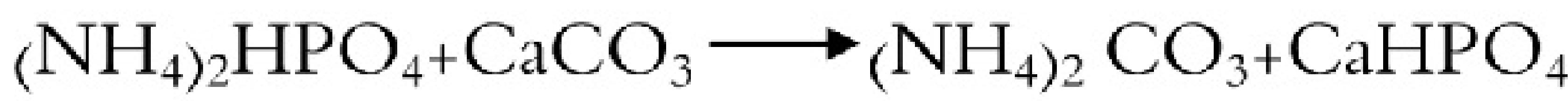
يحتوي على ٤٦–٥٣% خامس أكسيد الفوسفور و ١٨% نيتروجين

من الأسمدة التي بدا استعمالها وانتشارها يزداد وينافس السماد التقليدي السوبر فوسفات الاعتيادي، فضلا عن احتوائه على عنصر النتروجين ولهذا يمكن اعتبار

هذا السماد سماداً ثنائياً مركبا (Combined fertilizer) من حيث احتوائه على عنصر النتروجين والفوسفور

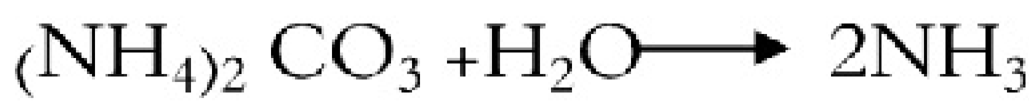
أن ذوبانية هذان السمادين في الماء تصل إلى ١٠٠% والذوبانية هنا للكمية الجاهزة المعلنة من السماد

ذو تأثير متعادل على خصائص التربة وان pH المحلول المشبع منه يساوي (٧.٩٨) ولذا فإننا لا نتوقع تكوين العديد من الرواسب بعد إضافة السماد مقارنة مع السوبر فوسفات، حيث نتائج التفاعل الأخيرة عديدة بسبب إذابته لبعض الكاتيونات، ويمكن توضيح معادلة تفاعل سماد فوسفات ثنائي الأمونيوم في الترب الكلسية.



$$(NH_4)_2HPO_4 + CaCO_3 \longrightarrow (NH_4)_2 CO_3 + CaHPO_4$$

فإن ناتج كربونات الأمونيوم يكون قلقا ويتحلل وفق الآتي



$$(NH_4)_2 CO_3 + H_2O \longrightarrow 2NH_3$$

الفصل الثامن

البوتاسيوم

استهلال

- تحتوي القشرة التربة ٢.٥% بوتاسيوم وزنا
- محتوى الترب الناعمة من البوتاسيوم أعلى من محتوى الترب الخشنة النسجة
- يأتي بعد النتروجين من حيث الكمية التي يحتاجها النبات
- قليل الحركة في التربة وسريع الحركة في النبات
- محتوى أنسجة النباتات من البوتاسيوم تصل إلى ١.٥% وقد تصل إلى ٨% من الوزن الجاف
- ما يزيد من الاهتمام بالتسميد البوتاسي في ظروف المناطق الجافة وشبه الجافة هو أن الجزء الرئيس من بوتاسيوم التربة (٩٧%) يوجد بشكل غير جاهز للنبات
- يمثل الأيون الأحادي الموجب الشحنة (K^+) الوحيد الذي تحتاجه كافة النباتات على الرغم من عدم دخوله في أي مركب عضوي وان امتصاص هذا العنصر هو امتصاص نشط وذلك لتراكمه في أنسجة النبات ضد تدرج التركيز مع المحيط الخارجي
- يشكل ٠.٣–٢.٥% من المكونات المعدنية للقشرة التربة
- يشكل البوتاسيوم ٢.٥٨% وزنا، ٢.١٤% حجما و ٢.٦٤ %على أساس الذرات من القشرة الأرضية ويأتي بالمرتبة السابعة من حيث انتشاره بعد، Ca و Fe وAl وSi و O_2 وNa تتركز خامات البوتاسيوم في الدول الأوربية مثل هولندا وألمانيا وفرنسا وروسيا أما في أمريكا الشمالية فتتركز في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا وشيلي وفي البلدان العربية في البحر الميت بالأردن وفلسطين والمغرب والجزائر.



الخصائص الكيمياوية للبوتاسيوم

اكتشف البوتاسيوم لأول مرة من قبل H-Davey سنة ١٨٠٧م ويمتاز بالخصائص الآتية:

١. وزنه الذري: ٣٩.١٠٢

٢. عدده الذري: ١٩

٣. كثافته: ٠.٨٧ غم. سم$^{-3}$

٤. انصهاره: ٦٢.٢ م°

٥. درجة غليانه: ٧٦٠م°

٦. تكافؤه: ١

٧. عدد نظائره: ٨

والمقصود بالنظائر ومفردها نظير- عنصر ذو عدد ذري مماثل ووزن ذري مخالف (نظائر العنصر تشاركه المكان في الجدول الدوري)

٨. نصف قطره الأيوني: ١.٣٣ A^{O} وعدد أحاطته ٨.١٢ ذرة أوكسجين تحيط به في التركيب البلوري مما يجعل قوة الربط للأصرة البوتاسيوم- الأوكسجين ضعيفة نسبيا.

٩. أن الاستقطابية Polarizability للبوتاسيوم أعلى من الاستقطابية لـ Ca وLi وMg وNa وتبلغ 0.088 nm لكنها أقل منBa وCs وNH_4 وRb مما يجعل للبوتاسيوم تفضيلا عاليا نسبيا في تفاعلات التبادل الأيوني.

١٠. طاقة تأدرته Hydration energy تبلغ ١٤٢.٥ كيلوجول.غم$^{-1}$.أيون$^{-1}$ مما يجعل للبوتاسيوم قدرة قليلة نسبيا" على أحداث جهد انتفاخ في التربة.

١١. حرارة تأدرته Hydration heat تبلغ -٧٥ كيلوسعرة.مول$^{-1}$.

١٢. الصورة المعلّمة للبوتاسيوم هي K^{42}.

إن التعبير عن البوتاسيوم حسابيا" بأوكسيد البوتاسيوم K_2O غير دقيق علميا وذلك بسبب عدم وجود البوتاسيوم بشكلK_2O في أي من أسمدته أو أملاحه المستعملة حاليا ولما كان البوتاسيوم يؤخذ من قبل النبات بشكله الأيوني K^+ سواء كان في محلول التربة أم متبادلا على غرويتاها لذا أستعيض في التعبير عن K_2O بـ K في حسابات استعمال الأسمدة البوتاسية وتطبيقاتها ولأجل تحويل K_2O إلى K حسابيا يستعمل المعامل ٠.٨٣ والمحسوب على أساس الوزن الذري للبوتاسيوم.

مصادر البوتاسيوم

يوجد البوتاسيوم بكميات كبيرة في التربة تصل إلى ٢.٦% وزنا، واهم مصادره هو تحلل الصخور الحاوية على معادن البوتاسيوم الأولية وتشتمل

المعادن الأولية، مثل (الفدسبار) و(المايكا)

المعادن الثانوية، مثل (الااليت) و(الفيرمايكوليت) و (الكلورايت)

أقسام البوتاسيوم في التربة

١. **البوتاسيوم الذائب** في محلول التربة، ونسبته ٠.١ – ٢ % من البوتاسيوم الكلي، وهي كمية لا تسد احتياجات أي محصول

٢. **البوتاسيوم المتبادل Exchangeable potassium**

هو ذلك الجزء المرتبط كهربائيا بالشحنة السالبة على سطوح معادن الطين والمادة العضوية وهو سهل التبادل مع الكاتيونات الأخرى ويكون جاهزا للنبات، وهو البوتاسيوم الموجود على سطوح غرويات التربة التي تحمل الشحنة السالبة والممسوك بقوى الجذب الكهربائية ويمكن استخلاصه بوساطة المحاليل الملحية الخاصة بالاستخلاص مثل خلات الأمونيوم $1N$ CH_3COONH_4 وغير ذلك من المحاليل. وإن كميته تعتمد على التركيب المعدني للتربة والمحتوى الرطوبي وظروف التجوية والغسل وعدد مواقع التبادل وتركيز الأيونات الأخرى ومحتوى التربة من $CaCO_3$ و$CaSO_4.2H_2O$ إذ تعمل هاتان المادتان على تقليل عدد مواقع التبادل ومن ثم تقلل من السعة التبادلية الكاتيونية للتربة فيقل تبعا لذلك محتوى التربة من البوتاسيوم المتبادل، ولكن كلما زاد محتوى التربة من الطين وقل محتواه من الكلس والجبس ازدادت قيمة السعة التبادلية الكاتيونية وأزداد تبعا لذلك البوتاسيوم المتبادل. وزيادة البوتاسيوم المتبادل بزيادة الـ CEC للتربة.

البوتاسيوم المتبادل يمثل

١) بوتاسيوم السطوح الخارجية P–Position

٢) بوتاسيوم الطبقات الداخلية I–Position لمعادن الطين 2:1 القابلة للتمدد Expanded

٣) بعض بوتاسيوم الحواف E–Position لمعادن الطين 2:1 غير المتمددة.

إن البوتاسيوم المستخلص بـNH_4^+ أعلى من المستخلص بـCa^{++} إذ أن الأمونيوم يزيل الجاهز(بوتاسيوم السطوح) مع بعض بوتاسيوم الحواف. أن كلا من مستخلصيNH_4Cl وNH_4OAC يميلان نحو

التنبؤ المفرط للبوتاسيوم المتبادل. وأن البوتاسيوم المتبادل المستخلص بخلات الأمونيوم يقيس فقط كمية البوتاسيوم الجاهزة للمحصول النامي وأن نقصه يظهر المقدرة للتنبؤ بمعدل سرعة تحرر البوتاسيوم من المصادر غير المتبادلة إلى الشكل المتبادل والذائب.

يعد البوتاسيوم المتبادل الصورة الجاهزة للنبات وأن نسبته تتراوح بين ١-١٠% من البوتاسيوم الكلي ويمكن النظر إلى هذه الصورة كأساس للمستودع غير المستقر وترتبط هذه الصورة بحالة أتزان سريع Rapid equilibrium مع الصورة الذائبة وقد يصعب عزل الصورتين عن بعضهما في أثناء التقدير الكمي. أن مدى البوتاسيوم المتبادل يتراوح بين ٤٠ – ٦٠٠ ملغم. كغم$^{-١}$ وتحت الظروف الحقلية فأن بوتاسيوم محلول التربة ينظم بشكل سريع من قبل البوتاسيوم المتبادل(الممسوك على المواقع P) وان العلاقة بين البوتاسيوم المتبادل وبوتاسيوم محلول التربة تعد مقياسا جيدا لجاهزية بوتاسيوم الحيز غير المستقر للنباتات وأن كمية البوتاسيوم اللازمة لزيادة البوتاسيوم المتبادل1ملغم. كغم$^{-١}$ تتراوح بين ١-٦٠ كغم. هـ$^{-١}$اعتمادا على نوع التربة. أن القيمة الحرجة لعتبة تحرر البوتاسيوم المتبادل ٠.٦٢٦ سنتيمول.كغم $^{-١}$ أي أن الترب دون هذه القيمة لها القابلية على تثبيت البوتاسيوم الأمر الذي يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار عند إدارة البوتاسيوم في هذه الترب.

أن اختبار التربة للبحث عن محتواها من المغذيات الجاهزة هو ممارسة مألوفة لعدة عقود مضت وأن المبدأ الأساس في تقدير جاهزية البوتاسيوم للنباتات في التربة هو إبدال البوتاسيوم الموجود على سطوح التبادل بزيادة Excess من كاتيون أخر مثل NH_4^+ على شكل خلات أو نترات الأمونيوم أو بكاتيوناتCa^{++} مثل كلوريد الكالسيوم، أن البوتاسيوم المقدر بهذه الطريقة يدعى بالبوتاسيوم المتبادل أو بوتاسيوم التربة الجاهز بسرعة وسهولة Readily available للنباتات. وان هناك طرق أخرى أقل شيوعا Less frequently تستعمل في استخلاص بوتاسيوم الترب باستعمال HCl المخفف والراتنجاتResins أو باستعمال تقنية Electro Ultra Filtration (EUF) بمساعدة فولتية كهربائية واطئة، أن قيم اختبارات التربة هذه تقارن مع قيم الحدود الحرجة للترب لتقدير فيما إذا كان استعمال الأسمدة البوتاسية يعطي زيادة معنوية في الحاصل ذو مردود اقتصادي مهم لذا استعملت قيم الحدود الحرجة للترب والمحاصيل بشكل واسع كما أن هناك مدى واسع من الحدود الحرجة وذلك لاعتماد الحد الحرج على محتوى التربة من الطين وCEC التربة ونوع المحصول. البوتاسيوم المتباد، ينجذب إلى غرويات الطين السالبة الشحنة، وتعتمد كميته على

١. التركيب المعدني للتربة

٢. المحتوي المائي

٣. ظروف التجوية والغسل

٤. عدد مواقع التبادل

٥. تركيز الأيونات الأخرى

٦. كربونات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم

هذا البوتاسيوم تتراوح نسبته بين ١-١٠% من البوتاسيوم الكلي

٣. البوتاسيوم غير المتبادل Non exchangeable potassium

البوتاسيوم غير المتبادل أنه ذلك الجزء الموجود بين طبقات المعادن والممسوك بقوى الكتروستاتيكية Vander waals forces الناتجة من وجود الشحنات السالبة للطبقات الداخلية للمعادن ويصنف أنه متوسط إلى صعب الجاهزية للنبات. إن البوتاسيوم غير المتبادل يضم بشكل رئيس بوتاسيوم الطبقات الداخلية لمعادن الطين 2:1 غير المتمددة مثل الألايت وبوتاسيوم الطبقات الداخلية للمايكا فضلا عن البوتاسيوم الشبكي الموجود في الفلدسبارات واعتبر مصدرا مهما للعديد من النباتات النامية في العديد من الترب وأن جاهزيته تعتمد أولا Primarily على معدل سرعة انطلاقه من الطبقات الداخلية لمعادن الطين. إن البوتاسيوم غير المتبادل لا يعد سريع الجاهزية لكنه يسهم وبشكل معنوي في المحافظة على البوتاسيوم المتبادل فيصبح جزء منه جاهزا عندما يزال البوتاسيوم المتبادل وبوتاسيوم محلول التربة من قبل المحاصيل أو يفقد خلال موسم النمو لكن هذه العملية بطيئة في سد متطلبات المحصول خلال موسم النمو، وتتراوح كمية البوتاسيوم غير المتبادل بين ٥٠-٧٥٠ ملغم. كغم $^{-1}$ وان معدل سرعة تحرر البوتاسيوم غير المتبادل إلى محلول التربة وسطوح التبادل تتحكم به عملية تجوية المعادن الحاوية على البوتاسيوم مثل المايكا والفلدسبارات البوتاسية وان سهولة عملية التجوية تعتمد على الصفات المعدنية والبيئية وان التحرر التدريجي للبوتاسيوم من المواقع في شبكة المايكا تؤدي إلى تكوين مايكا مائية وأخيرا Eventually معدن الفيرميكولايت ويصاحب ذلك زيادة في CEC للتربة.

أن البوتاسيوم الجاهز قد أنخفض في ترب البنجاب الهندية والمزروعة بالمحاصيل بشكل مستمر من دون تسميد من ١٦٦ إلى ٨٥ كغم. هـ$^{-1}$ وبالرغم من هذا الانخفاض فأنه لم يلاحظ أي استجابة للأسمدة المستعملة بسبب أن ٩٠% من متطلبات المحصول كانت تأتي من تحرر البوتاسيوم من الشكل غير المتبادل

أو المثبت. أن مقدرة البوتاسيوم غير المتبادل للانطلاق تحتاج إلى وقت قد يزيد عن شهر. أن الحد الحرج لانطلاق البوتاسيوم من الصورة غير المتبادلة في ست ترب مختلفة في المحتوى والتركيب المعدني هو بحدود ٠.١-٢ ملمول. لتر$^{-1}$كما أشار إلى أن مساهمات البوتاسيوم غير المتبادل في تجهيز النبات قد تصل ٨٠-٩٠% من الكمية الكلية الممتصة. هناك العديد من الطرق لاستخلاص البوتاسيوم غير المتبادل ومنها الاستخلاص بـ$1M\,HNO_3$ المغلي وأطلق عليه بالبوتاسيوم بطئ التبادل.

٤. البوتاسيوم المعدني Mineral potassium

أنه البوتاسيوم الداخل في تكوين المعادن الأولية والثانوية وان تحرر البوتاسيوم المعدني لا يحدث إلا بتجوية هذه المعادن وتكوين معادن جديدة مثل معادن الأطيان، ويمثل البوتاسيوم المعدني الجزء الأكبر من بوتاسيوم التربة. البوتاسيوم يتواجد في التربة بشكل رئيس في المعادن الحاملة له وان قوة تجهيز البوتاسيوم في التربة لا تعتمد فقط على محتواه في التربة وعلى نوع المعادن الحاملة له ولكن على معدل سرعة تحرره من الصور المعدنية والمثبتة ليصبح جاهزا للامتصاص من قبل النباتات. أن لطبيعة مخزونات Reserves البوتاسيوم ومعدل سرعة تحرره من معادنه أهمية كبيرة ولاسيما في ترب الغابات لعدم استعمال الأسمدة البوتاسية في هذه الترب غالبا. هناك عدد من العوامل المؤثرة في معدل سرعة تحرر البوتاسيوم منها ما يتعلق بطبيعة وحجم دقائق المعادن الحاملة له والأخرى تتعلق بظروف ومحيط التربة.

من العوامل ذات العلاقة بطبيعة المعادن الحاملة للبوتاسيوم والتي تؤدي دورا مهما في تحرر البوتاسيوم:

١-التركيب البلوري والتكوين الكيميائي للمعدن.

٢-اتجاه Orientation جذور الهيدروكسيل البنائية.

٣- موقع شحنة الطبقة.

٤-درجة استنزاف Depletion البوتاسيوم.

٥-تناوب Alteration شحنة الطبقة في معادن المايكا.

كمية البوتاسيوم المعدني في الترب ٢٥٠٠-٥٠٠٠ ملغم. كغم$^{-1}$. أن تحرر وتثبيت البوتاسيوم في الترب الطينية ذات المحتوى العالي من Illite يعتمد على محتوى الطين من المايكا ثلاثية الاوكتا هيدرا. وهناك علاقة واضحة بين التركيب المعدني للجزء الطيني وحالة البوتاسيوم وان سيادة معادن أطيان البيرولايت والفيرميكولايت يؤدي إلى نقص محتوى الترب من البوتاسيوم الجاهز على الرغم من وجود خزين كبير له في التربة. ولنا حديث قادم عن معادن البوتاسيوم

٥. البوتاسيوم الكلي Total potassium

يمثل البوتاسيوم الكلي كل صور البوتاسيوم الموجودة في التربة (الذائب والمتبادل وغير المتبادل والمعدني) إن كمية البوتاسيوم الكلي في الطبقة السطحية لترب معدنية تتراوح بين ٢٠٠٠٠– ٥٠٠٠٠ كغم. هـ$^{-1}$ إن كمية البوتاسيوم الكلي في آفاق التربة لا تتغير بسرعة وتبقى على حالها لمدد زمنية طويلة وأن آفاق التربة الثلاث A وB وC وتحتوي تقريبا على الكمية نفسها من البوتاسيوم الكلي في مختلف الترب.

حالة الاتزان الديناميكي بين صور البوتاسيوم في التربة

بغض النظر عن البوتاسيوم الذائب فأن صور البوتاسيوم الأخرى ترتبط بمعادن التربة وغروياتها بمواقع مختلفة محددة بذلك حالة الاتزان الكيميائي بين الصور المختلفة وكذلك الحاجات السمادية المطلوبة خلال موسم النمو وتتمثل مواقع البوتاسيوم المختلفة في التربة بالاتي

مواقع على السطح: قوة ربط هذه المواقع بحدود $2.2(mmol.L^{-1})^{0.5}$ وهي عبارة عن مواقع ربط البوتاسيوم السطحية التي ترتبط بحالة توازن سريع مع البوتاسيوم الذائب بمحلول التربة، ويمتاز البوتاسيوم المرتبط بهذه المواقع بقدرته على التعويض السريع حال حدوث نقص في محلول التربة وبذلك تستقر حالة التوازن بين الصورتين وينظر لهذا البوتاسيوم بأنه جاهز للنبات. في الترب العضوية والرملية والطينية الحاوية على معدن طيني 1:1 يرتبط البوتاسيوم بهذا النوع من المواقع وأن عددها يكون قليلا جدا.

مواقع عند الحواف: قوة ربط هذه المواقع بحدود$102(mmol.L^{-1})^{0.5}$ ويمتاز البوتاسيوم المرتبط بهذه المواقع بقدرته البطيئة على التحرر لذا فأن مساهمته في تجهيز محلول التربة بالبوتاسيوم أو النبات محدودة، تنتشر هذه المواقع في معادن الطين1:1 وأن زيادة نسبتها بالتربة يؤدي إلى عرقلة انتشار البوتاسيوم إلى جذور النبات.

مواقع بين الطبقات: قوة ربط هذه المواقع تمثل مقدارا لانهائيا من$(mmol.L^{-1})^{0.5}$ وهي عبارة عن القوى الرابطة للبوتاسيوم المثبت بين طبقات معادن2:1 وأن قدرة البوتاسيوم على التحرر من هذه المواقع بطيئة جدا بالمقارنة مع المواقع الأخرى. أن سيادة أي موقع من هذه المواقع في الترب الطينية يعتمد على نوعية المعادن السائدة. أن تركيز محلول الترب الطينية الحاوية على معادن2:1 يكون واطئا عموما بالمقارنة مع تركيز محلول الترب الرملية أو حتى الطينية الحاوية على معادن1:1 مثل معدن الكاؤولينايت وذلك لقلة محتوى الترب الأخيرة من المواقع المحددة لامتزاز البوتاسيوم وانعدام مواقع التثبيت وبسبب اختلاف قوة هذه المواقع واعتمادها على خصائص التربة فأن العلاقة بين الامتزاز/الانطلاق للبوتاسيوم يحددها نوع المعدن

وليس CEC بل أن CEC ونسبة الطين تكونان عاملا" مساعدا" لزيادة معدل إمتزاز البوتاسيوم في الترب.

المواقع الثلاثة أعلاه وصفت بمعامل جابون Gapon coefficient

$$k^{+} ads/Ca^{+2} ads = \mathbf{K \times k^{+}s/(Ca^{+2}s)^{0.5}}$$

إذ k ads, Ca ads: التراكيز الممتزة

$k^{+}s, Ca^{+2}s$: التراكيز الذائبة K: معامل كابون

من العوامل التي تؤثر في حالات الاتزان والتي تستدعي الانتباه في ترب المناطق الجافة وشبه الجافة هي مستوى الملوحة في التربة إذ لوحظ أن زيادة كمية الأملاح المضافة للتربة سببت تغيرا" واضحا" في حالة الاتزان بين صيغ البوتاسيوم المختلفة وذلك بزيادة الصيغة الذائبة والمتبادلة، وأن غسل ترب ملحية مختلفة أدى إلى تغيير حالة الاتزان بين صيغ البوتاسيوم باتجاه خفض كمية كل من البوتاسيوم الذائب وغير المتبادل المستخلص بـ $1N\,HNO_3$ من جهة وزيادة كمية البوتاسيوم المتبادل من جهة أخرى وتعتمد شدة التغيير هذه على عوامل عديدة كالنسجة ونوع المعدن الطيني وكمية المادة العضوية ونوع الأيون المرافق ونوع الكاتيونات المتبادلة وحجم الماء المضاف للغسل وسرعة حركته.

أن صور البوتاسيوم الذائب والمتبادل وغير المتبادل ذات صلة ببعضها البعض من خلال عمليات التحول العكسية إذ أن البوتاسيوم المزال من قبل النباتات أو المغسول من محلول التربة يعوض من قبل البوتاسيوم المتبادل وغير المتبادل أذ يمكن أن يجري التعويض من قبل إحداهما أو كلاهما في آن واحد، كما يمكن أن يحدث عكس هذه العملية في حالات الاستعمالات الكبيرة للأسمدة البوتاسية فإن جزءا من هذا البوتاسيوم يمكن أن يتحرك نحو البوتاسيوم غير المتبادل(بطيء الجاهزية) بعملية التثبيت Fixation وإلى البوتاسيوم المتبادل بعملية التبادل Exchangeable. تحدث عملية الاتزان بين صورتي البوتاسيوم المتبادل والذائب بسرعة كبيرة في حين أن عملية الاتزان بين صورة البوتاسيوم غير المتبادل من جهة وصورتي البوتاسيوم المتبادل والذائب من جهة أخرى تكون بطيئة، ويعد البوتاسيوم المعدني الصورة غير الجاهزة المهمة للمحاصيل خلال موسم النمو الواحد.

معادن البوتاسيوم

معدل احتواء قشرة التربة من البوتاسيوم يتراوح من ٢٣ غرام/كغم. الجزء الكبير من هذا البوتاسيوم يكون مرتبطاً بالمعادن الأولية أو قد يوجد في معادن الطين الثانوية التي بدورها تشكل جزء الطين لحبيبات التربة

ذات حجم اقل من ٢ مايكرومل، محتوى التربة من الطين يعتمد بدرجة اعلى الأصل للتربة ولكنه أيضا يعتمد على تكون هذه التربة (pedogenesis). الأتربة الناضجة التي كانت تحت ظروف تجوية قوية تكون في اكثر الأحيان ذات محتوى واطئ من البوتاسيوم.

لذا فان الأتربة الرملية التي حصلت عليها التجوية بشدة تكون مخالفه للأتربة الحديثة المشتقة أما من مادة بركانية أو مع جزء السلت الحاوي على كميات لابأس بها من المعادن الحاملة للبوتاسيوم كما هي الحال مع ترب Aridisols. ترب الـ luvisols المشتقة من الـ loess أيضا تحتوي على كميات عالية من K+ المهم في تغذية النباتات. إن تركيز K+ للترب أيضا يعتمد على نوعية معادن الطين. الأتربة العضوية يكون محتواها من الطين والبوتاسيوم واطئاً وان مستوى البوتاسيوم في هذه الأتربة يقارب من ٠.٣ غم/كغم، وان هذا الرقم يختلف بدرجة قليلة بين أنواعها الترب العضوية.

مصدر البوتاسيوم الرئيس للنباتات النامية تحت الظروف الطبيعية هو من تجوية المعادن الحاوية على البوتاسيوم واهم هذه المعادن موجود في الجدول (٢١).

التركيب العنصري الأساس للفلدسبار هو ذات أربعة أوجه (Tetra Hedral) وذات بنية بثلاثة أبعاد (Tetrahedral Three- Dimensional Framework). البوتاسيوم يكون موجوداً في الفرج (Interstices) العائدة إلى بنية Si و Al-O العائدة إلى الصفيحة البلورية وهذا تجوية الفلدسبار تبدأ عند سطح الحبيبة. البوتاسيوم في الأساس يتحرر بوساطة الماء والحوامض الضعيفة وبمعدل اسرع جداً من بقية المكونات، تقارير أولية تؤشر بان تجوية الفلدسبار التي تنتج غطاء من ترسبات Si-Al-O حول اصل المعدن الذي لم تحصل له تجوية (unweathered) لم يتم التأكد منها.

قيمة معادن الميكا (mica) وأيضا المعادن الثانوية للسليكات 2:1 تختلف من حيث التركيب عن معدن الفلدسبار ولهذا السبب فإنها تختلف أيضا في صفات تحريرها وربطها للبوتاسيوم. إن المايكا هي سليكات ورقية (Phyllosilicates) تتركب من وحدة طبقات كل منها صفحتان ذات أربعة أوجه من Si و Al-O وبين هاتين الصفيحتين توجد صفيحة ذات ثمانيه أوجه (Octahedral) من M-O و OH وهنا M هي رمز لـ Al^{3+} ة Fe^{2+} و Fe^{3+} و Mg^{2+} أيونات البوتاسيوم تشغل المساحات السداسية (Hexagonal) بين وحدة الطبقات وكسلسلة متعاقبة فالمسافة بين وحدة الطبقات هي صغيرة نسبياً وهي واحد نانوميتر (1.0nm) في المايكا. إن استبدال K^{+} الطبقة البينية غير المتميع

(Nonhydrated) بكتيونات متميع مثل Na^{+}، Mg^{2+} أو Ca^{2+}، يجعل المعادن متمددة بزيادة المسافة بين وحدة الطبقات ومثال ذلك تمدد الفرمكيولايت إلى ١.٤ نانوميتر.

الجدول ٢١: تركيز معادن الطين الأولية والثانوية من البوتاسيوم

السماد	التركيز غم/كغم
الفلدسبار القلوي (**Alkali feldspars**)	**١٢٠-٣٢**
فلدسبار الصوديوم والكالسيوم (**Ca-Nafeldspar**)	**صفر-٢٤**
المسكوفيت (**Kmica**)	**٩٠-٦٠**
البيوتيت (**Mg mica**)	**٨٠-٣٦**
الاليت	**٥٦-٣٢**
الفرمكيوليت	**صفر-١٦**
الكلوريت	**صفر-٨**
المونتموروليت	**صفر-٤**

العوامل المؤثرة على جاهزية البوتاسيوم

١. معدن الطين، معادن الطين ٢:١ بقدرتها العالية على تثبيت البوتاسيوم بالمقارنة مع معادن ١:١

٢. درجة الحرارة، تزداد القدرة على تثبيت البوتاسيوم مع ارتفاع درجات الحرارة

٣. الرطوبة، تعاقب الري والتجفيف تؤدي إلى تحرر البوتاسيوم المثبت

٤. درجة تفاعل التربة، كمية البوتاسيوم المثبتة في التربة تزداد مع زيادة pH التربة

٥. تأثير أيون الأمونيوم، لتقارب أنصاف أقطار البوتاسيوم والأمونيوم، فان إضافة احدهما يؤثر على الثاني.

المعايير التقليدية المتبعة في تقييم بوتاسيوم التربة

إن المستخلصات الكيمياوية المستعملة في دراسة وتقييم بوتاسيوم التربة يمكن تصنيفها إلى مستخلصات مائية وملحية وحامضية ومركبات مخلبية وراتنجات. استعملت الطرائق التقليدية أو ما يسمى اختبار التربة Soil Test لتقدير البوتاسيوم الذائب بعد استخلاصه بالماء المقطر واعتبر دليلا" على جاهزية البوتاسيوم فيما وجد بعض الباحثين أن هذه الصيغة غير كافية للتعبير عن القوة الإمدادية للبوتاسيوم واستعملت خلات الأمونيوم لاستخلاص البوتاسيوم الجاهز في التربة، إن الاستخلاص بخلات الأمونيوم هي الطريقة المثلى في تقدير البوتاسيوم الجاهز. إن مستخلص (Sodium Tetra Phenyl Boron) NaTPB يستخلص كميات من البوتاسيوم توافق حاجة النبات خلال الموسم الزراعي، قابلية هذا المركب في تحرير البوتاسيوم من أربعة معادن حامله له (البايوتايت، المسكوفايت، مايكروكلاين،الأورثوكليز) وفق مبدأ عملية التبادل الكاتيوني وكانت سرعة تحرر البوتاسيوم من هذه المعادن حسب الترتيب الاتي

Biotite > Muscovite > Microcline ≈ Orthoclase

أن ميكانيكية تحرر البوتاسيوم باستعمال(NaTPB) تتلخص بإحلال الصوديوم محل البوتاسيوم في البناء المعدني بعملية التبادل الكاتيوني فيما يقوم TPB بالاتحاد مع البوتاسيوم المنطلق وترسيبه لتشجيع استمرارية انطلاق البوتاسيوم بتفاعل التبادل، هذه التقنية استعملت لاستخلاص البوتاسيوم من المعادن والترب، أن عملية تبادل الصوديوم محل البوتاسيوم في الطبقات البينية للمايكا أكثر سهولة من الفجوات الموجودة في الهياكل ثلاثية الأبعاد للفلدسبارات لهذا فأن تحرر البوتاسيوم من البايوتايت والمسكوفايت يكون أكبر من تحرره من المايكروكلاين والأورثوكليز.

أن المستخلصات المائية والملحية لها المقدرة على استخلاص البوتاسيوم من أسطح التبادل. أن كمية البوتاسيوم المستخلصة من ترب مختلفة اختلفت تبعا" لاختلاف المحاليل الملحية المستعملة وكانت بالترتيب الاتي

$$BaCl_2 > NH_4Cl > CaCl_2 > NaCl$$

أن المستخلصات الحامضية سواء" العضوية منها أم المعدنية مخففة أو مركزة فأن دورها يتمثل في أمداد محلول التربة بأيونات الهيدروجين التي تكون فعالة في تحرير البوتاسيوم من مواقع التبادل فضلا عن دورها في إذابة وتحلل المعادن الأولية والثانوية. تعتمد كمية البوتاسيوم المستخلصة على نوع الحامض وتركيزه والحرارة

المرافقة لعملية التفاعل. بالنسبة إلى الحوامض العضوية فقد تم أستعمالها في دراسة تحرر البوتاسيوم لأنها تحاكي إلى حد ما فعل الجذور النباتية من إفراز بعض الأحماض العضوية في منطقة Rhizosphere فضلا عن إفرازات الأحياء المجهرية. أما الراتنجات المستعملة في دراسات استخلاص وتحرر البوتاسيوم فقد أشار بعض الباحثين إلى أنها تمثل قابلية النبات على امتصاص البوتاسيوم وأنها تعمل على إمتزاز البوتاسيوم المتحرر وتمسكه بقوة بسبب سعتها التبادلية العالية وهذه الراتنجات أما أن تكون مشبعة بالهيدروجين أو بأيون قاعدي مثل الصوديوم، الكالسيوم أو أي أيون آخر حيث إستعمل طريقة فيزيائية في استخلاص البوتاسيوم من الترب هي(Electro Ultra Filtration)EUF وتتضمن إزالة البوتاسيوم من الترب بواسطة خلية إلكترونية (فرز بالانتشار الغشائي التفاضلي) عند درجة حرارة ٢٠°م لمدة٣٠ دقيقة عند٢٠٠ فولت يتبع ذلك استخلاص ثاني لمدة ٣٠ دقيقة أخرى عند درجة حرارة ٨٠°م و٤٠٠ فولت. أعتمد على درجة التشبع بالبوتاسيوم Potassium Saturation Percentage في تصنيف الترب من ناحية قوة تجهيزها للبوتاسيوم وبالجدول (٢٢)

الجدول ٢٢: درجة التشبع بالبوتاسيوم في تصنيف الترب من ناحية قوة تجهيزها للبوتاسيوم

النسبة المئوية للتشبع بالبوتاسيوم	قابلية التربة في تجهيز البوتاسيوم
١.٢%	ضعيفة
١.٢-٢.٣%	متوسطة
أعلى من ٢.٣%	عالية

إن مساهمة البوتاسيوم غير المتبادل في أمداد المحاصيل الزراعية بالبوتاسيوم يعد معيارا" بالغ الأهمية في تقييم حالة البوتاسيوم في التربة. وقد أثيرت أخيرا" في الأدبيات العلمية معايير جديدة في تقييم حالة وسلوكية البوتاسيوم في الترب الزراعية مبنية على أسس الثرموديناميكية والحركية، أن اختبارات التربة تعد عملية لا بد منها Indispensable في مراقبة حالات خصوبة التربة وان الزيادة البسيطة في البوتاسيوم المتبادل بالقياس مع التوازن البوتاسي والازالة الكبيرة لبوتاسيوم التربة من قبل المحاصيل ومع ما موجود في الجزء المتبادل بدون تسميد يدعو إلى التساؤل عن صحة الاعتماد على معيار واحد عند تقييم حالة البوتاسيوم في التربة وهناك عدد من الملاحظات حول الاعتماد على معيار واحد(البوتاسيوم المتبادل) في تقدير

جاهزية البوتاسيوم للنبات وحاجة التربة للتسميد. ووفق المعايير التقليدية تعد معظم ترب الوطن العربي متوسطة إلى عالية المحتوى من البوتاسيوم الجاهز للنبات في ظروف الزراعة الاعتيادية.

المعايير الثرموديناميكية المستعملة للتعبير عن جاهزية البوتاسيوم

يوجد البوتاسيوم في محلول التربة بتراكيز واطئة نسبيا" بشكل عام وفي الوقت نفسه فأن حاجة النبات لهذا العنصر كبيرة جدا. وقد وجد بالاعتماد على وحدة المساحة حسابيا" أن محلول التربة يحتوي على ١٠– ٣٠ كغم. هـ$^{-1}$ بوتاسيوم بينما الطلب الكلي على هذا العنصر هو أكثر من ذلك، فمثلا" أن حاجة محاصيل الحبوب تصل إلى ١٠٠ كغم. هـ$^{-1}$، إن نمو محاصيل الحبوب تحت ظروف التربة أعلاه لا يكون بالضرورة مصحوبا بنقص في هذا العنصر لأن امتصاص النبات للبوتاسيوم من محلول التربة يجب أن يلازمه سد لهذا النقص عن طريق تجهيز محلول التربة من قبل الطور الصلب للتربة لغرض استعمال المعايير الثرموديناميكية في وصف وتقييم حالة البوتاسيوم في الترب يجب أجراء القياسات والحسابات الآتية والإلمام بها بشكل جيد للتوصل إلى الغاية المرجوة والقياسات هي:

١. القوة الأيونية Ionic strength

القوة الأيونية لمحلول الكتروليتي هي مقياس لشدة الحقل الكهربائي في المحلول ولها أهمية كبيرة في حساب فعالية الأيونات في المحلول. تحسب القوة الأيونية في المحاليل العادية حسب بالمعادلة الآتية.

$$I=1/2\sum C_iZ_i^2$$

I=القوة الأيونية(مول. لتر$^{-1}$)

C_i=تركيز الأيونات(مول. لتر$^{-1}$) لكل أيون(i) في المحلول

Z_i= تكافؤ كل أيون في المحلول

$\sum$ =حاصل الجمع

من المهم معرفة تركيز كل الأيونات التي تؤثر في القوة الأيونية للمحلول وفي حالة محلول التربة سيؤثر وجود أنواع مختلفة للأيون الواحد على القوة الأيونية لمحلول التربة وبصورة عامة تدفع زيادة القوة الأيونية لمحلول التربة الأيونات المختلفة في الشحنات للتداخل مع بعضها مما يؤدي ذلك إلى أحداث تأثير مباشر على الطبيعة الأيونية في المحلول وفي النهاية تنخفض فعالية الأيونات.

ويمكن حساب القوة الأيونية في المستخلصات المائية للتربة من خلال قياس الإيصالية الكهربائية (EC) للمستخلص: $EC \times I=0.013$

EC=الإيصالية الكهربائية ($dS.m^{-1}$) عند درجة حرارة ٢٥م^{0}

لا يمكن التقليل من أهمية هذه المعادلة أذ وجد أنها ذات أهمية خاصة عندما يكون محتوى محلول التربة غير معروف نظرا" لتكوين الأملاح المختلفة التي تحول دون قياس الصور الأيونية المختلفة وتركيزها بالمحلول.

٢. فعالية ومعامل فعالية الأيونات في المحاليل

لوصف النظم الطبيعية أو الكيمياوية لابد من معرفة صفات معينة لمكونات النظام مثل نوع وكمية ومستوى الطاقة. وأن أي نظام في حالة توازن لا يحدث به تفاعل كيميائي ولا انتقال لمكوناته من مكان إلى أخر يكون الجهد الكيميائي لجميع مكوناته متساوي في جميع أجزاء النظام، وبالنسبة للنباتات فإن دخول الأيونات إلى الجذور من محلول التربة يتوقف على الجهد الكيميائي لهذه الأيونات ولابد أن حركتها تكون في الاتجاه الذي يكون فيه الجهد أقل. في المحاليل غير الغروية يكون معامل الفعالية للأيونات دالة لمسافة التداخل بين الأيونات ولشحنة الأيونات أما في المحاليل المخففة فيكون التداخل متوقفا" على مقدار التجاذب بين الأيونات المختلفة في الشحنة.

يمكن حساب معامل الفعالية للأيونات.

$$\mathbf{Log\ fi=-Azi^2\,(I)^{1/2}/1+Bd(I)^{1/2}}$$

fi = معامل فعالية الأيون

0.509 = A

Z = تكافؤ الأيون

I = القوة الأيونية (مول. لتر$^{-1}$)

0.328 = B

di = الحجم المؤثر للأيون في المحلول وهذه القيمة تختلف باختلاف الأيونات

diK =3 diCa = 6 diMg = 8

معامل الفعالية للأيونات الممتصة تقل بازدياد الجهد الكهربائي للحبيبات وهذه تتوقف بشدة على تركيز الالكتروليتات في محاليل الغرويات. إن معرفة معامل فعالية البوتاسيوم في محاليل الترب المدروسة يعني التعرف على النسبة المئوية لأيونات البوتاسيوم الذائبة غير الفعالة Inactive في المفهوم الكيميائي في محلول التربة، وهذا الاستنتاج له أهمية تطبيقية بالنسبة لجاهزية البوتاسيوم للنبات أذ أكدت نتائج البحوث التي جرت في السنوات الأخيرة على أن امتصاص العناصر الغذائية يعتمد بشكل مباشر على فعاليتها

الأيونية في محلول التربة. أما الفعالية الأيونية فهي عبارة عن الكمية الفعالة أو النشطة من الأيونات التي تمتلك جهدا" كيميائيا" كبيرا". تعد الفعالية الأيونية القيمة الثرموديناميكية الأساسية في حساب المعايير الثرموديناميكية ذات العلاقة واستعملت في عدد من الأبحاث لتقييم جاهزية بعض العناصر الغذائية ومنها البوتاسيوم لوجود علاقة واضحة بين كمية البوتاسيوم في النبات وفعاليته في محلول التربة. وتحسب الفعالية الأيونية من المعادلة الآتية

$$Ci \times ai = fi$$

ai = فعالية الأيونات (مول. لتر$^{-١}$)

وأن هذه العلاقة تؤكد أن معرفة قيمة معامل الفعالية تساعد على تحويل التركيز إلى فعالية وبالعكس. إذن في المحاليل المخففة بشكل مطلق يكون التركيز مساويا" للفعالية ويكون معامل الفعالية يساوي واحد. أما في المحاليل غير المخففة فأن تركيز أي أيون مقاسا" بوحدة(مول. لتر$^{-١}$) غالبا" ما يكون أعلى قيمة من الفعالية المقاسة بوحدة(مول. لتر$^{-١}$) أذ أن التركيز يمثل الكمية الذائبة الكلية من الأيون في محلول التربة أما الفعالية فهي عبارة عن الكمية النشطة من الأيون في المحلول. أن فعالية أيونات البوتاسيوم في محلول التربة أهم قوة موجهه لانتشار أيونات البوتاسيوم نحو سطوح الجذور.

٣. نسبة الفعالية الأيونية للبوتاسيوم

مؤشر نسبة الفعالية الأيونية بين البوتاسيوم من جهة والكالسيوم + المغنيسيوم من جهة أخرى في مستخلص الترب للتعبير عن جاهزية البوتاسيوم فيها. وتمثل نسبة الكاتيونات في المحلول بالاتزان مع الكاتيونات المتبادلة وهي تعطي تقديرا" للبوتاسيوم سريع الجاهزية. أن الترب التي تمتلك قيم بوتاسيوم ذائب متشابهة ربما تعطي سعات تنظيمية مختلفة في المحافظة على نسبة الفعالية عند نفاد البوتاسيوم الذائب بالامتصاص من قبل الجذور أو بالغسل ويتم حسابها بالصيغة الآتية.

$$AR_e^K = aK/(aCa + aMg)^{1/2}$$

AR_e^K= نسبة الفعالية الأيونية للبوتاسيوم(مول. لتر$^{-١}$)$^{1/2}$

aMg,aCa,aK= فعالية البوتاسيوم، الكالسيوم والمغنيسيوم بالتتابع مقدرة بـ(مول. لتر$^{-١}$)

كما أكدوا أن AR_{ex}^k يوضح أن امتصاص البوتاسيوم ينخفض بزيادة كل من أيوني الكالسيوم والمغنيسيوم وبالعكس Conversely ولهذا فأن جاهزية البوتاسيوم تعتمد ولحد ما على التراكيز النسبية لكل من الكالسيوم والمغنيسيوم إلى تركيز البوتاسيوم الموجود في محلول التربة.

٤. الطاقة الحرة للاستبدال

قيمة الجهد الكهروكيميائية(الطاقة الحرة المولارية) للتبادل بين البوتاسيوم والكالسيوم+ المغنيسيوم لتقييم جاهزية البوتاسيوم في التربة. إذ تم حساب الطاقة الحرة للاستبدال بالصيغة الآتية:

$$\Delta F = -2.303\ RT\ Log\ aK/(aCa+aMg)^{1/2}$$

ΔF= الطاقة الحرة للاستبدال بين البوتاسيوم والكالسيوم+ المغنيسيوم(كيلوسعرة.مول$^{-١}$)

R= ثابت الغازات=1.987 سعرة. درجة$^{-١}$.مول$^{-١}$

T= درجة الحرارة المطلقة=273

وعند التعويض عن قيم R,T عندما تكون درجة الحرارة25 م° تصبح المعادلة بالشكل الآتي

$$Log\ AR_e^K \times (273+25) \times 1.987 \times \Delta F = -2.303$$

$$Log\ AR_e^K \times \Delta F(cal\ mol^{-1}) = -1363.7$$

$$Log\ AR_e^K \times\ = -1363.7/1000\ \Delta F(Kcal\ mol^{-1})$$

$$Log\ AR_e^K \times \Delta F(Kcal\ mol^{-1}) = -1.364$$

وقد بيّن أن تقدير الطاقة الحرة للاستبدال يعد الدليل الملائم لجاهزية البوتاسيوم وأستنتج التصنيف الآتي

قيم الطاقة الحرة (سعره. مول$^{-١}$)	حالة البوتاسيوم
-4000 ـ -3500	نقص
-3500 ـ -2500	ذات تجهيز جيد
<-2500	ذات تجهيز عال

أن أهمية هذا المعيار تبرز بوضوح عند مقارنة ترب متقاربة في محتواها من البوتاسيوم المتبادل ومختلفة في صفاتها، المعيار تجريبي وتختلف كميته حسب نوع المستخلص وتركيزه حيث يمكن التنبؤ بمقدرة هذه الترب على تجهيز البوتاسيوم بشكل دقيق وكيفية إدارتها. مع إستعمال مفهوم الطاقة الحرة للاستبدال للبوتاسيوم بنجاح من قبل الكثير من الباحثين لتقييم حالة وجاهزية البوتاسيوم في ترب متعددة.

٥. الكمية والشدة والسعة التنظيمية للبوتاسيوم

يجب التمييز بين جزئيين من البوتاسيوم في التربة هما عامل الكمية Quantity(Q) الذي يمثل كمية البوتاسيوم الجاهز في التربة وعامل الشدة Intensity(I) والذي يمثل تركيز البوتاسيوم في محلول التربة. أن العلاقة بين السعة والشدة للبوتاسيوم تعبّر بشكل جيد عن جاهزية وحالة وقابلية الترب لتعويض البوتاسيوم في المحلول بواسطة تحرر البوتاسيوم المتبادل. مخططات Q/I عادة ما تعمل بموازنة عينات التربة بمحلول $CaCl_2$ مع زيادة كميات KCl المضافة للمحلول بشكل تصاعدي. تكون العلاقة بين عوامل الشدة والكمية أن جذور النباتات تعتمد على شدة العنصر الغذائي أو على تركيز العنصر في محلول التربة التي تنظم اعتياديا" بواسطة جزء العنصر القابل للتغيير Labile Pool والذي يكون سهل التبادل وهذا الجزء يعد القسم الأساسي في مكونات عامل الكمية بشكل عام. ولكن يحدث أحيانا" أن يكون تحرر العنصر من شكله بطئ الجاهزية مصدرا" رئيسيا" في تجهيز العنصر وحصول هذه الحالة لا يعتمد على العنصر الغذائي فقط وإنما يشاركه في ذلك ظروف وخواص التربة مثل pH التربة والحرارة والرطوبة وتهوية التربة وعوامل أخرى. مثلا" في الترب الاستوائية تكون عمليات التجوية سريعة مما تشكل مصدرا" رئيسيا" للعناصر الغذائية، لهذا فأن عامل الكمية يعتمد بصورة كبيرة على الظروف المناخية وظروف التربة وعلى حجم التربة الذي تشغله الجذور وهذا يعني في الحقيقة أن كل العوامل التي تؤثر في توزيع الجذور بمقد التربة تشارك بعامل الكمية. أن العامل الأخر المهم في جاهزية البوتاسيوم هو قابلية التربة في المحافظة على شدة البوتاسيوم في محلول التربة Soil Buffering Potential وهي عبارة عن مقياس دقيق جامع لخصائص التربة الكيمياوية والفيزيائية والبيولوجية.

أن جاهزية المغذيات النباتية تعتمد على تركيزها في محلول التربة وبشكل أدق على قابلية التربة في المحافظة على هذا التركيز. إن السعة التنظيمية Buffering Capacity تعني قابلية التربة على أعادة تجهيز Resupply محلول التربة بأيون ما. تتضمن السعة التنظيمية كل المكونات الصلبة في نظام التربة ولهذا فأن الكاتيونات والأنيونات يجب أن تتواجد في الترب كمكونات صلبة ممتزة إلى مواقع التبادل المعدنية والعضوية في التربة، فمثلا عند معاملة أيونات H^- في محلول التربة بإضافة الكلس فأن أيونات H^- سوف تنطلق Desorbs من مواقع التبادل وبهذا فأن pH المحلول سينظم بواسطة أيونات H^+ المتبادلة. ومثال آخر هو عند امتصاص أيونات البوتاسيوم من قبل جذور النباتات أو أزالتها من محلول التربة

بالغسل فأن البوتاسيوم المتبادل سينطلق لإعادة تجهيز محلول التربة بأيونات البوتاسيوم. في استعمال الأسلوب الكمي فأن السعة التنظيمية للبوتاسيوم يمكن أن تمثل بالعلاقة الآتية:

$$P.B.C.^{K}=\Delta K_{exch}./\Delta AR_{e}^{K}$$

$P.B.C.^{K}$= قابلية السعة التنظيمية للبوتاسيوم $Cmol.\ kg^{-1}.(mol.L^{-1})^{-1/2}$

ΔK_{exch} = التغير في كمية البوتاسيوم المتبادل $(Cmol.\ kg^{-1})$

ΔAR_{e}^{K} = التغير في نسبة فعالية البوتاسيوم إلى فعالية الكالسيوم+ المغنيسيوم $(mol.\ L^{-1})^{1/2}$

الأهمية الفائقة لمعيار $P.B.C.^{K}$ في تقييم حالة البوتاسيوم ومن ثم أدارته إدارة ناجحة. أن السعة التنظيمية للتربة تزداد بزيادة CEC التربة ومحتواها من المواد العضوية فمثلا أن قابلية السعة التنظيمية للترب الحاوية على معدن المونتموريلونايت وذات المحتوى العالي من المادة العضوية أعلى من الترب الحاوية على معدن الكاؤولينايت والمستويات الواطئة من المادة العضوية وبما أن الـCEC تزداد بزيادة محتوى التربة من الطين لذا فأن قابلية السعة التنظيمية للترب ناعمة النسجة أعلى من الترب خشنة النسجة. إن القيم العالية للسعة التنظيمية تعني امتلاك التربة مقدرة تنظيمية عالية ضد التغيرات التي تجري على البوتاسيوم في محلول التربة. أن سلوكية وشكل العلاقة Q/I تعد صفة خاصة بكل تربة وتصف بشكل جيد حالة وديناميكية البوتاسيوم في الترب وتعكس مقدرتها على تجهيز البوتاسيوم للمحاصيل الزراعية ومدى حاجاتها للتسميد. إن الترب الطينية تمتلك سعة تنظيمية أعلى من الترب الرملية والعضوية ولذلك فهي أكثر مقدرة في المحافظة على تركيز البوتاسيوم في محلول التربة. أنه في حالة انخفاض مستوى البوتاسيوم كنتيجة لامتصاص النباتات فأن قابلية التربة لتنظيم بوتاسيوم محلول التربة تنخفض ومن المحتمل أن تصبح التربة تعاني من نقص وهنا يأتي دور إضافة الأسمدة البوتاسية في زيادة البوتاسيوم المتبادل ومن ثم تصحيح النقص. عند إضافة كميات متساوية من سماد بوتاسي لتربتين إحداهما طينية والأخرى رملية فيكون تركيز البوتاسيوم في محلول التربة الرملية أعلى من تركيزه في محلول التربة الطينية بسبب ان$B.C._{clay}>B.C._{sand}$. واذا رغب المزارع في أن يكون تركيز بوتاسيوم محلول التربة للتربتين متماثلا" فعليه إضافة كميات سماد إضافية للتربة الطينية للوصول إلى ذلك.

الامتصاص والانتقال Uptake And Trans Location

البوتاسيوم هو عنصر ضروري لكل الكائنات الحية. يعد البوتاسيوم هو الكاتيون الأكثر أهمية في فسلجه النبات ولا يعود هذا فقط لمحتوى الأنسجة النباتية من هذا العنصر بل لوظائفه الفسلجية والكيميائية الحيوية.

السمة أو الصفة التي يتصف بها البوتاسيوم هي معدل امتصاصه العالي من الأنسجة النباتية بوسائل كفؤة وانتقاله إلى كل النبات. تجمع K^+ في الجذور يحصل بوساطة نواقل غشاء البلازما القادرة على تنظيم نفسها بسرعة للمستوى الواسع من K^+ في محلول التربة. هذا المعدل العالي لامتصاص K^+ يعود إلى امتصاص K^+ بأنظمة مختلفة وبشكل رئيس القنوات المتخصصة في البلازما لما وغشاء الفجوة لأنسجة النبات.

قنوات البوتاسيوم هي الأبسط تركيباً من بين عائلة القنوات الكاتيونية وتتصف بمقطعها القصير في الموقع المسامي المسؤول عن انتقائية K^+. كلا القنوات ذات الاتجاه الداخلي وذات الاتجاه الخارجي تتواجد ويكون فيها تدفق K^+ يتبع التدرج بالجهد الكهربائي أنواع مختلفة من القنوات توجد وتضم قنوات K^+ المنشطة بالكالسيوم أو الصوديوم (Cu^{2+} or Na^+ Avtivated K^+ Channels).

للبوتاسيوم هناك مجموعتان رئيستان لأنظمة النقل في غشاء البلازما للجذور يمكن التفريق بينهما، النواقل ذات الألفة العالية (High-Affinity Transporters) والنواقل ذات الألفة الواطئة (Low-Affinity Transporters)، الأولى ذات درجة انتقائية عالية للبوتاسيوم وتتصف بـ K_m واطئة وبالمدى الذي هو بضعة ملمول/م³، والثانية تكون اقل انتقائية وتتصف بـ K_m بما يقرب من ١.٠ مول/م³ ميكانيكية امتصاص K^+ لكلتا المجموعتين مختلفة، بالنسبة للنقل ذات الألفة العالية الامتصاص يستمر بوساطة النقل المتزامن (Symport) لل H^+K^+ حيث H^+ ينتقل سوية مع K^+ عبر غشاء (البلازما لما) إلى داخل السايتوسول. تكوين مثل هذه النواقل ذات الألفة العالية يحفز عندما التجهيز بالبوتاسيوم يكون غير كاف وعندما يكون هناك تأقلم للجاهزية المنخفضة من K^+. كلا النظامين لنقل K^+ يكونان مرتبطين بنشاط المضخة الهيدروجينية لغشاء البلازما لما التي تبني التدرج الكيميائي الكهربائي الذي يحتاج إليه للنقل عبر الغشاء وانه في حالة النقل ذي الألفة العالية فانه أيضا يحتاج إليه في توفير أو تدبير (Provision) H^+ للانتقال المساعد (Cotransport). النقل ذو الألفة الواطئة ييسر (Facilitate) انتشار K^+ أثناء القنوات الانتقالية إلى السايتوسول. بينما أنظمة النقل ذات الألفة العالية تتصف بالحركة المتشبعة (Suturation Kinetic)، والاستمرار بوظيفة النواقل ذات الألفة الواطئة تعكس بمنحنى ثنائي الطور (Biphasic Curve) مع زيادة خطية عند المستوى العالي من تركيز K^+ بالتطابق مع ما متوقع من الانتشار المسير.

النواقل ذات الألفة الواطئة تعمل عندما يكون تركيز K^+ في المحلول المغذي اكثر من ١.٠مول/م³ كما أنها تلعب دوراً متزايداً في الامتصاص الكلي للبوتاسيوم عندما تركيز K^+ للوسط الخارجي يزداد. عند التراكيز

أكثر من ١.٠٠مول/م٣ معظم K^+ يمتص بوساطة نظام الألفة الواطئة (الانتشار المسير بالقنوات المتخصصة). قنوات K^+ التي تفتح إلى الداخل (Inwardly) والتي تفتح إلى الخارج (Outwardly) يحصل بوساطتها تنظيم امتصاص K^+ واحتجازه.

الجدول (٢٣) تأثير زيادة التجهيز بالبوتاسيوم في تركيز K^+ في فجوة الخلية والسايتوسول.

الجدول ٢٣: تأثير زيادة التجهيز بالبوتاسيوم في تركيز K^+ في فجوة الخلية والسايتوسول

K في المحلول المغذي مول/م٣	الفجوة مول/م٣	السايتوسول مول/م٣
٠.٠٠١	٢١	١٣١
٠.١	٦١	١٤٠
١.٢	٨٥	١٤٤

فوائد البوتاسيوم للنبات

١. البوتاسيوم عنصر غذائي يمتصه النبات بكميات كبيرة تفوق العناصر المغذية الأخرى عدا عنصر النتروجين وتزيد كميته الممتصة في نباتات أخرى مثل التبغ وعلى الرغم من عدم دخوله في تكوين أي مركب عضوي داخل النبات إلا انه يؤدي دوراً فسلجيا مهماً ومتمييزاً في خلايا النباتات الراقية

٢. البوتاسيوم عاملا منشطا للإنزيمات المساهمة في عملية التركيب الضوئي

٣. مقاومة النبات لدرجات الحرارة المنخفضة

٤. عنصر مهم في نقل السكريات داخل النبات

٥. ضروري لانتقال نواتج التمثيل الغذائي وتكوين البروتين وزيادة جدر الخلايا

٦. ضروري وعامل مساعد لتحفيز أكثر من ٤٠ أنزيم

٧. تحفيزه لعملية امتصاص غاز CO_2 من قبل ثغور الأوراق وتكوينATP الضروري في ملء الأنابيب المنخلية بالمواد الناتجة من عملية التمثيل الضوئي إذ أن البوتاسيوم يحافظ على توازن الشحنات الكهربائية في الكلوروبلاست أذ أن هذا التوازن ضروري في عملية تكوينATP، ويسهم في تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية على صور ATP في عملية الفسفرة الضوئية Photo phosphorylation وNADPH. هذه الطاقة الناتجة ضرورية في كافة العمليات الحيوية الجارية في الخلايا النباتية مثل تصنيع الكربوهيدرات والبروتينات والدهون.

٨. يسهم في تنظيم الجهد الاوزموزي للخلية النباتية ويحافظ على ضغطها الانتفاخي ومن ثم زيادة مقاومة النبات لظروف الجفاف وأثار الصقيع والملوحة والفطريات والأمراض. ويحفز النبات في امتصاص الماء والاحتفاظ به من خلال رفعه للضغط الاوزموزي للخلية النباتية مما يساعد على سحب الماء إلى داخل خلايا الجذور وخفض معدل الفقد بعملية النتح بسبب سيطرته على آلية عملية فتح وغلق الثغور ومن ثم رفع كفاءة النبات في زيادة كفاءة الري واستغلال الماء المضاف أو المتساقط بالأمطار وبهذا يمكن تقليل عدد الريات أو تقليل كمياتها المضافة أو تباعد المدة الزمنية بين الريات.

٩. يسهم في تكوين البروتينات والكربوهيدرات إذ وجد في حالة نقص البوتاسيوم تجمع للسكريات والأحماض الأمينية ذات الأوزان الجزيئية الواطئة وفي حالة النقص الشديد يحدث تجمع للأمينات السامة مثلPutrescin و Agmatine

١٠. يسهم في تنشيط أنزيم Nitrate reductase الضروري في عملية اختزال النترات بداخل النبات وتحويله إلى أمونيوم والذي بدوره

١١. يرتبط بحامض عضوي كيتوني لتكوين الأحماض الأمينية

١٢. أن البوتاسيوم إلى جانب الفوسفور يساعد النباتات لاسيما النجيلية منها على مقاومة ظاهرة الرقاد Lodging نتيجة لمساعدته في تكوين الخلايا السكلارنكيمية وبذلك تكون الخلايا أكثر سمكا

١٣. التراكيز العالية من البوتاسيوم في الخلايا النباتية تسهم في رفع تراكيز الأحماض العضوية مثل حامض الاسكوربيك (فيتامينC) في الثمار والدرنات.

١٤. يسهم في تنشيط أنزيم Nitrogenase الضروري في اختزال النتروجين الجوي إلى NH_3 بوساطة بكتريا Rhizobium وأن هذه العملية تعتمد عل تجهيز الكربوهيدرات.

أعراض نقص البوتاسيوم

لأن البوتاسيوم من العناصر المتحركة داخل النبات لوجوده في صورة ذائبة، فإن أعراض النقص لهذا العنصر تظهر أولاً على النموات المسنة. ويمكن تلخيص أهم أعراض النقص الظاهرية على النبات فيما يلي:

١. ظهور اصفرار على حواف الأوراق المسنة، ثم يحدث لها ما يشبه الاحتراق ويتحول اللون إلى البني، ثم ينتشر اللون تدريجياً إلى داخل الورقة. أي تظهر بقع لأنسجة ميتة صغيرة، وتكون عادة على الأطراف العليا للأوراق، ثم يمتد انتشارها إلى أسفل بطول الحواف وإلى الداخل فيما بين العروق ولكنها تكون واضحة ومميزة على الحواف.

٢. بطء النمو وتقزم النبات.

٣. ضعف الساق للنبات وبالتالي ضعف قدرته على مقاومة الرقاد.

٤. ذبول البذور والثمار وعدم اكتمال نموها.

٥.نقص البوتاسيوم يؤدي إلى تحول أطراف الأوراق إلى اللون الأبيض ويحول النبات فيما بعد كما يحدث في ألجت ويصاحب النقص انكماش وتجعد في الأوراق.

٦. إذا كان النقص قليل يتشكل محصول إنما قليل الكم والنوع أما في حالات النقص الشديد تموت الأوراق وخاصة في منتصف الأفرع وبشكل عام تكون مواصفات الثمار الناتجة سيئة بجانب هذه الأعراض الظاهرية فإن نقص البوتاسيوم يؤدى إلى رداءة ونوعية الثمار، وانخفاض محتوى النبات من الكربوهيدرات، كما يؤدى إلى ظهور التجعدات والذبول داخل بعض الثمار خصوصاً الطماطم والبطاطا، ويعمل على غياب اللون في بعض الثمار مثل: التفاح وفي الطماطم يؤخر من تطور اللون. كذلك يعمل على تكوين حبوب فارغة في محاصيل الحبوب وقرون البقوليات، كما يسبب انخفاض حموضة الموالح وانخفاض محتوى الدهون في حبوب المحاصيل الزيتية.



الأسمدة البوتاسية

- معدل كمية البوتاسيوم المضاف بهيئة أسمدة للتربة يتحدد وفقا محتوى التربة من البوتاسيوم الجاهز
- نوع المحصول المراد زراعته
- وقت الزراعة
- نوعية التربة وخصائصها الكيماوية و الفيزيائية
- تأثير الانيون المرافق للسماد يؤدي إلى مشاكل في التربة وللعناصر الغذائية الأخرى



- يفضل استخدام كبريتات البوتاسيوم بدل كلوريد البوتاسيوم
- في الترب الرملية والعضوية ينصح بإضافة السماد البوتاسي قبل الزراعة لتجنب فقدان البوتاسيوم.

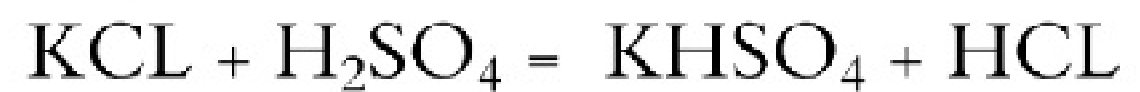
أهم الأسمدة البوتاسيوم وطرق تصنيعها

١ . كلوريد البوتاسيوم KCl، يصنع باستخراجه من خامات البوتاسيوم كمحلول ملحي، وفي عمليتين (الطحن والإذابة) يطفو كلوريد البوتاسيوم على السطح وتتم بلورته كأملاح بوتاسية ويفصل عن أملاح كلوريد الصوديوم، يحتوي كلوريد البوتاسيوم على نسبة تتراوح بين ٤٠ –٥٠ أكسيد بوتاسيوم(K_2O)، رخيص الثمن ولكن لا يصلح للترب المالحة

٢ . كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4

تعتبر كبريتات البوتاسيوم أهم مصادر الأسمدة البوتاسية وتحضر بأحد الطرق التالية

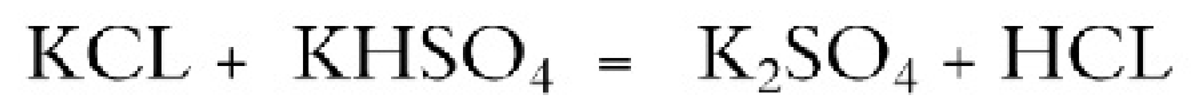
أ. تفاعل حامض الكبريتيك مع كلوريد البوتاسيوم



$$KCL + H_2SO_4 = KHSO_4 + HCL$$

حامض الهيدروكلوريك + حامض كبريتات البوتاسيوم = حامض الكبريتك + كلوريد البوتاسيوم

ب. تفاعل حامض كبريتات البوتاسيوم مع كلوريد البوتاسيوم ووجود الحرارة



$$KCL + KHSO_4 = K_2SO_4 + HCL$$

كبريتات البوتاسيوم، غالي الثمن، يفضل لأغلب النباتات خصوصا في الترب القلوية، نسبة البوتاسيوم (٥٢% K_2O) والكبريت (١٨%)

نترات البوتاسيوم، نسبة البوتاسيوم (٤٤% K_2O) والنتروجين (١٣%)، يستخدم لتسميد البساتين والحدائق وأشجار الفاكهة

طرق إضافة الأسمدة البوتاسية

تلقيما، أي قرب البذور أثناء الزراعة، ونثراً على السطح. في حدود ٤٠-٢٥٠ كغم. هكتار$^{-1}$ سنويا.

فوائد عنصر البوتاسيوم للإنسان

١. يحسن خفقان القلب

٢. يحسن التقلصات الطبيعية للعضلات

٣. ينظم نقل المواد المغذية للخلايا

٤. يحافظ على توازن المياه في انسجه الجسم

٥. يحافظ على حسن إداء عمل خلايا الأعصاب والقلب والعضلات والهيكل العظمي والكليتين وعصارة المعدة



٦. يعالج الحساسية

٧. يشفي حب الشباب

٨. يساعد في شفاء الحروق

٩. يحول دون ارتفاع ضغط الدم

أهم الأغذية التي تحتوي بوتاسيوم

النباتية: هليون، أفوكادو، موز، فاصوليا، بطيخ، جزر، شمندر، الحمضيات، الطماطم، السبانخ، البندق، بزاليا، بطاطا، زبيب، تفاح، إجاص، التمر، العنب، الشعير

الحيوانية: السردين المعلب، الحليب

من المفيد أن تعلم: نقص البوتاسيوم بجسم الإنسان يؤدي إلى اضطرابات في ضربات القلب وانخفاض ضغط الدم، جفاف الجلد، انتشار حب الشباب، قشعريرة، الاكتئاب، العصبية المزاجية، الإجهاد والإعياء، الضعف العضلي، الغثيان، التقيؤ، تشنجات.

وإن الإفراط بتناول البوتاسيوم يؤدي إلى الضعف العضلي والقيء والكمية المطلوبة للعمر ٧ – ١٠ سنوات ١٦٠٠ ملغرام يومياً، وللعمر ١١ – ٥٠ سنة ٢٠٠٠ ملغرام يومياً.

الفصل التاسع
الكالسيوم

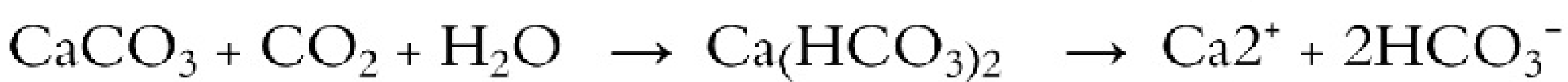
استهلال

- محتوى قشرة التربة من الكالسيوم ٣.٦٤%، فهو العنصر الخامس (كنسبة وزنيه) بعد الأوكسجين والسليكون والألمنيوم والحديد.
- الترب التي نشأت من مادة أصل Limestone والترب الملحية وترب المناطق الجافة وشبه الجافة، فان كمية الكالسيوم فيها عالية
- يمتص الكالسيوم من قبل النبات بهيئة Ca^{+2}، ويوجد في أنسجة النبات كأيون حر Ca^{+2} وكمعقد عضوي
- تحتاج النباتات إلى (٥-١٠) ملغرام كالسيوم لكل غرام مادة جافة
- يعتبر أساسيا في تغذية النبات ويوجد بكميات كبيرة في الأوراق وخاصة في جدران الخلايا النباتية.
- يتواجد في النبات بأشكال مختلفة كان يكون على هيئة أملاح عضوية أو أكسيد الكالسيوم .والشكل السائد للكالسيوم في الترب الزراعية يكون بشكل متحدا أو محمل على الغرويات على هيئة كالسيوم متبادل ويعتبر جاهز للنبات.
- يتواجد الكالسيوم بشكل كبير في ترب المناطق الجافة ويترسب في آفاق التربة على شكل كلسي أو جبس وذلك لقلة الأمطار

كالسيوم التربة

إن معدل محتوى قشرة التربة من الكالسيوم يقرب من ٣٦ ومن هذه القيمة ينصح بأن هذا المحتوى هو اعلى من محتوى معظم العناصر الغذائية. يوجد كالسيوم التربة في مختلف المعادن الأولية وهذه تضم سيلكات الألمنيوم الحاملة للكالسيوم (مثل الفلدسبار والـAmphiboles) وفوسفات الكالسيوم كربونات الكالسيوم ذات أهمية خاصة في الأتربة الكلسية(Danner And Lynn) وهي تتواجد بصورة طبيعية على شكل $CaCO_3$ (Calclte) أو $CaMg(CO_3)_2$ (Dolomlte) الكالسيوم يتواجد بأشكال مختلفة من فوسفات الكالسيوم مثل الابتيت Apatite $CaHPO_4$ Octo– Ca- Phosphate, تركيز أنواع الأتربة المختلفة من الكالسيوم يختلف وذلك اعتماداً على

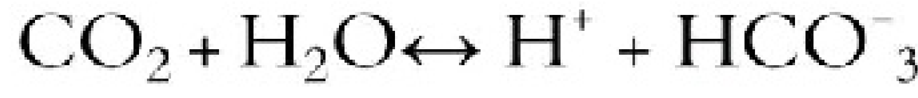
مادة الأصل وعلى الدرجة التي تأثرت بها عملية تكون التربة بالتجوية والغسيل. الأترية التي اشتقت من مادة الجير أو الـ Chalk وأتربة المستنقعات الحديثة التكوين تكون اعتيادياً غنية بالكالسيوم وذات محتوى عالٍ من كربونات الكالسيوم. محتواها من الكالسيوم يتراوح بين ١٠٠-٧٠٠ غم/كغم Ca. حتى الطبقة السطحية للأتربة التي تكونت فوق مادة الجير. يكون محتواها من الكالسيوم واطئاً عند وجود عملية الغسيل المفرطة. الأتربة القديمة التي تعرضت إلى عمليات تجويه وغسيل تحت الظروف الرطبة يكون محتواها من الكالسيوم واطئاً. ومثال على مثل هذه الأتربة هو أتربة الـ Podzols للمنطقة المعتدلة وأتربة الـLaterltes للمنطقة الاستوائية الرطبة. تحت الظروف الجافة قد يكون محتوى الكالسيوم لطبقة التربة العليا عالياً ويكون تجمعه على شكل جبس($CaSO_4$- $2H_2O$) .المعادن الحاوية على الكالسيوم تلعب دوراً مهماً في تكون التربة ولذا فإن الأتربة المشتقة من مادة الأصل الحاوية على الكالسيوم مثل الـ Basalt والـ Dolerlte تحتوي بصورة عامة على كميات عالية من معادن الطين الثانوية. الترب المشتقة من الـ Calelte والـ Dolornlte والـ Chalk بصورة عامة تعود إلى مجموعة ترب الـ Rendzine (Mollisols). هذه الترب الضحلة (Shallow) تحتوي على كميات كبيرة من كربونات الكالسيوم ولهذا السبب فإن تفاعلها قاعدي. الرقم الهيدروجيني العالي ووجود الكالسيوم تكون ظروف ملائمة لتكون معقدات من Ca- Humate التي يعود إليها اللون الأسود لترب Mollisols. تجوية الكربونات تعتمد بدرجة كبيرة على تكوين ثاني أوكسيد الكاربون في التربة. نحن نعرف بان معدن الـ Calcite($CaCO_3$) هو من المعادن غير الذائبة نسبياً ومعدل ذوبانه يتراوح من ١٠ إلى ١٥ ملغم باللتر الواحد أي ما يقارب من ٠.٣ مول/ م[٣]). وبوجود ثاني أوكسيد الكربون يتكون $Ca(HCO_3)_2$ الذي هو أكثر ذوباناً في الماء.



$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca(HCO_3)_2 \rightarrow Ca2^+ + 2HCO_3^-$$

لذا فإن الترب الكلسية تكون ذات تركيز عالٍ من HCO^-_3 في محلول التربة الذي قد يحدث أضرار الحديد (FeChlorosis). في مثل هذه الترب تكوين $Ca(HCO_3)_2$ (Monohydrogen Ca Carbonete) هو أيضا عملية مهمة تجعل Ca^{2+} ذائباً ومن ثم يكون عرضة للغسيل. في الترب التي لا تحتوي على $CaCO_3$ فإن Ca^{2+} و HCO_3 (Monohydroen Carbonate = Bi Carbonate) قد تغسل أيضا إذ أن

HCO_3 يمكن تنتج من تحلل حامض الكربونيك الموجود في ماء المطر أو بوساطة تفاعل H_2O و CO_2. وثاني أوكسيد الكاربون هذا ينتج بشكل رئيس من عملية التنفس



$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H^+ + HCO^-_3$$

هذا التفاعل يعتمد على درجة التفاعل وعلى الضغط الجزئي لثاني أوكسيد الكربون الذي ربما هو أعلى بكثير في التربة مما هو عليه في الغلاف الجوي درجة التفاعل والضغط الجزئي العالي لـ CO_2 هي ظروف مفضلة لتكوين $H^+ + HCO_3^-$. إن أيونات الهيدروجين الناتجة من هذا التحلل تحرر الكالسيوم بوساطة استبداله بأيونات الهيدروجين من غرويات التربة، وهذه النقطة توضح سبب زيادة غسل الكالسيوم عند إضافة المادة العضوية للتربة. أثناء تحلل المادة العضوية هناك زيادة في تحرر ثاني أوكسيد الكاربون وبذلك يحفز هذا التحلل على تكوين $H^+ + HCO_3^-$ في التربة. من الناحية الكمية يظهر بأن تكون NO^-_3 يلعب دوراً مهماً أكثر من الدور الذي تلعبه HCO_3 في موازنة الكالسيوم وكذلك أيضا المغنيسيوم في عملية الغسيل في عدد من الأتربة. وهذا صحيح بصورة خاصة للترب ذات درجة التفاعل اقل من ٧,٠ تحت الظروف الطبيعية يكون مصدر NO_3 بصورة كبيرة من المادة العضوية للتربة وذلك عن طريق عملية التعدين وعملية التأزت لنتروجين التربة العضوية. عملية التأزت تنتج H^+.الذي قد يتفاعل مع المعادن الحاملة للكالسيوم أو يحل محل الكالسيوم على غرويات التربة (Exchange Ca^{2+}). ولذا فان عملية التأزت ذات تأثير رئيس في زيادة حموضة التربة وغسل الكالسيوم. تحت الظروف التي يمكن لعملية التأزت ان تحصل يكون لإضافة NH^-_3 التأثير نفسه في زيادة حموضة التربة وغسل الكالسيوم، وبصورة عامة يكون هناك لكل ١٠٠ كغم من كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2\ SO_4$ المضافة إلى التربة ما يقرب من ٤٥ كغم كالسيوم يزال مع ماء الصرف وذلك تحت الظروف الرطبة. بعض الترب الغنية بالكبريت العضوي قد تزداد درجة حموضتها أيضا بوصفها كنتيجة لتكون H_2SO_4 والحالة صحيحة بصورة خاصة مع ترب الكبريتات الحامضية فالجذور ذاتها قادرة على فرز أيون H^+ وهذا ربما يشارك في حموضة التربة. وهذا يحصل عندما يمتص النبات NH^+_4 أو في البقوليات عند تثبيت N_2 درجة تفاعل التربة تنخفض.



مصادر الكالسيوم

المعادن الأولية، مثل الفلدسبار Calcium Feldspar

المعادن الثانوية، مثل معادن Dolomite و Calcite و Gypsum وApatite

من خلال عمليات التجوية يتحرر الكالسيوم إلى محلول التربة، وتجري عليه عمليات:

الفقد بماء الري أو الأمطار (عمليات الغسل في المناطق الرطبة)

استهلاك من قبل الكائنات الحية (النبات والأحياء الدقيقة)

إدمصاص على سطوح معادن الطين (الكالسيوم موجب والطين سالب)

ترسيب على شكل كربونات كالسيوم ($CaCO_3$)

صور الكالسيوم في التربة

١. الكالسيوم في الجزء المعدني (غير متبادل)، حيث يدخل في تركيب المعادن الأولية والثانوية

٢. الكالسيوم المتبادل، المدمص على سطوح الغرويات، ويشكل حوالي (٥٠-٩٠%) من الكالسيوم الكلي

٣. الكالسيوم الذائب، موجود في محلول التربة بهيئة أيونية تكفي حاجة النبات

أشكال الكالسيوم

١. كالسيوم غير جاهز للامتصاص من قبل النبات (غير متيسر، غير صالح) موجود في المعادن الأولية

٢. كالسيوم متبادل، مدمص إلى غرويات الطين والمادة العضوية (متيسر للنبات)

٣. كالسيوم محلول التربة، ذائب وجاهز للنبات

العوامل المؤثرة على جاهزية الكالسيوم

١. السعة التبادلية الكتيونية (CEC)، كلما كانت عالية السعة التبادلية الكتيونية كلما حصل إدمصاص عال للكالسيوم

٢. درجة تفاعل التربة، تنخفض جاهزية الكالسيوم بارتفاع pH التربة

٣. تأثير المادة العضوية، تدمص أيونات الكالسيوم بواسطة الغرويات العضوية وبالأخص حوامض الدباليك مكونا معقدات عضوية للكالسيوم غير ذائبة

٤. نوعية الطين، الترب التي تسود بها معادن الطين ١:١ تكون قابليتها التجهيزية بالكالسيوم اكبر من قابلية الترب التي يسود بها معادن الطين ٢:١

٥. تأثير نوع الكاتيون المرافق بجانب الكالسيوم، وهذا له دور في جاهزية الكالسيوم، ويمكن ترتيب الكاتيونات حسب تأثيرها السلبي على الكالسيوم، الصوديوم> المغنيسيوم> الهيدروجين.

٦. رطوبة التربة، تزداد جاهزية الكالسيوم في التربة بوجود محتوى جيد من الرطوبة

الكالسيوم في فسلجه النبات

النباتات الراقية في اكثر الأحيان تحتوي على كميات لابأس بها من الكالسيوم وبصورة عامة تكون بما يقرب من ٥- ٣٠ ملغم كالسيوم/ غم مادة جافة. هذه المحتويات العالية من الكالسيوم تعود إلى المستويات العالية من الكالسيوم في محلول التربة وليس إلى كفاءة ميكانيكية الامتصاص للكالسيوم من قبل خلايا الجذر بصورة عامة يكون تركيز الكالسيوم في محلول التربة بما يقرب من عشرة أضعاف تركيز البوتاسيوم وعلى الرغم من ذلك فان معدل امتصاص الكالسيوم اعتيادياً اقل من معدل امتصاص البوتاسيوم. هذا الامتصاص الواطئ للكالسيوم يحصل فقط من نهايات الجذور حديثة التكوين التي يكون فيها جدار الخلية للاندوديرم غير مثخن. امتصاص الكالسيوم يقل بوجود كاتيونات أخرى مثل K^+ و NH^+_4 التي تمتصه الجذور بسرعة. كمية الكالسيوم التي يمتصها النبات تعتمد على تركيز الكالسيوم في الوسط الجذري وأيضا يسيطر على ذلك وراثياً. لهذا السبب تراكيز الكالسيوم في أنسجة النبات قد تختلف بدرجة كبيرة. بوصف عام تراكيز Ca^{++} الواطئ قد وجدت في ذوات الفلقة الواحدة مقارنة بذرات الفلقتين، امتصاص الكالسيوم، من كلتا المجموعتين من النباتات ممثلة بنبات الزوان (Ryegrass) والطماطم، استعمال تيار من المحلول المغذي الذي فيه يمكن المحافظة على تجهيز واطئ وثابت من الكالسيوم. النمو الأقصى لنبات الزوان الذي هو من ذوات الفلقة الواحدة قد حصل عليه عند ٢,٥ ملمول/م٣ كالسيوم مقارنة مع ١٠٠ ملمول/م٣ Ca^{2+} للنمو الأمثل لنبات الطماطم (نبات من ذوات الفلقتين). وهذا يدل على وجود طلب كبير للكالسيوم من نبات الطماطم. والسبب في الطلب الكبير على الكالسيوم من النباتات ذوات الفلقتين مرتبط بالسعة التبادلية الكاتيونية العالية لجذور هذه النباتات كما هو الحال في بقية أجزاء نبات ذات الفلقتين. في الأنسجة النباتية السعة التبادلية الكاتيونية تتكون نتيجة لتواجد مجاميع الكاربوكسيل في خلايا جدار الخلية، فضلاً عن ذلك نباتات الطماطم قادرة على ترسيب كميات كبيرة من الكالسيوم على شكل اوكزالات الكالسيوم في أنسجتها. هذا المثال أيضا يوضح بأن الكالسيوم يجهز بتراكيز عالية يصل إلى اكثر من ٢٠ ملغم/ غم وزن مادة جافة لأنسجة النبات.

00:09:57

فوائد الكالسيوم للنبات

١. يدخل في تركيب الجدر الخلوية ويؤثر في تطور الخلايا المرستيمية
٢. له دور كبير في الأغشية الحيوية للخلية النباتية
٣. يساعد في تكوين بروتينات النبات
٤. للكالسيوم دور مهم في تكوين العقد الجذرية وتثبيت النتروجين الجوي
٥. منشط وعامل مساعد في عمل عدة أنزيمات (أنزيمات الملفوف والجزر)
٦. نقص الكالسيوم يشجع انتشار الأمراض النباتية (مثل مرض Bitter Pit على التفاح ومرض Blossom End Rot على الطماطم)
٧. يمنع انفصال أجزاء من النبات عن النبات قبل اكتمال النمو
٨. حبوب اللقاح تكون حساسة من حيث الاستجابة للتجهيز غير الكامل من الكالسيوم

أعراض نقص الكالسيوم

١. عنصر الكالسيوم عنصر غير متحرك، لذا تظهر علامات النقص في الأجزاء العليا والفتية (الحديثة التكوين)
٢. يظهر اصفرار أو تلون باللون البني المبقع والتفاف وتشوه في الأوراق الحديثة
٣. على أشجار الفاكهة توقف في نمو البراعم والجذور واصفرار الأوراق الحديثة وسقوطها قبل الأوان
٤. عدم نمو وتكامل البراعم النهائية وتجعد الأوراق وعدم انتظامها.
٥. عدم انتظام توزيع الأوراق واصفرارها وتساقطها المبكر ونقصه يظهر في الأجزاء الحديثة في النبات لكونه عنصر غير متحرك
٦. احتراق حواف الأوراق وتصبح الأوراق غير منتظمة وتموت القمم النامية للسوق وتموت البذور أو تكون ضعيفة التكوين وتموت الأوراق مبتدئة بالأوراق العليا متجهة للقاعدة.
٧. ظهور بقع بنيه والتفاف أطراف الأوراق السفلى للنبات واصفرار عام مع بقاء العرق الوسطى اخضر أما العروق الثانوية للورقة تكون صفراء.

علاج نقص الكالسيوم

يعالج نقص الكالسيوم من خلال إضافة الجبس أو نترات كالسيوم إلى التربة أو مع الري أو عن طريق الرش بالنسبة للذائب منها.

نقص الكالسيوم وعدم انتظام الناتج

نقص الكالسيوم يؤدي إلى نقص النمو في الأنسجة المرستيمية. أعراض نقص الكالسيوم تلاحظ أولا على نهايات النمو والأوراق الحديثة إذ يظهر الاصفرار والتشوه في المراحل المتقدمة لهذا النقص يظهر تبقع وموت في الأنسجة في حافات الأوراق، والأنسجة المتأثرة تصبح ضعيفة بسبب تحلل جدران الخلية وكذلك تتجمع مواد ذات لون بني في المسافات البينية للخلايا وكذلك في الأنسجة الوعائية وهذه بدورها تؤثر في ميكانيكية الانتقال لهذه الخلايا. نقص الكالسيوم الذي شرح يحصل بصورة نادرة ونسبية وذلك لأن أكثر الأترية المعدنية تكون غنية بالكالسيوم الجاهز. نقص الكالسيوم الذي يحصل بصورة غير مباشرة بسبب التجهيز غير الكامل من الكالسيوم للثمار والأنسجة الخازنة، وفي أكثر الأحيان يلاحظ عدم انتظام فسيولوجي. في التفاح يظهر مرض يسمى بالـ Bitter Pit إذ تظهر تبقعات بنية اللون ذات الأنسجة الميتة على كل سطح الثمرة. في الطماطم يعرف المرض بـ Blossom- End Rot ويتصف هذا المرض بتهدم الخلايا في النهاية القصوى أو البعيدة للثمرة. وعدم الانتظام والاضطراب عند نقص الكالسيوم يظهر أيضا وبصورة مشابهة في نبات الرقي (Water Melon). نقص الكالسيوم في الخضراوات، مثل Blackheart على نبات الكرفس (Celery) و Brussels Sprouts التلون باللون البُني الداخلي لـ Brassica Oleracea و Blossom End Rot لنبات الفلفل و Cavity Spot للجزر، كل هذه الأنسجة تجهز بصورة رئيسة بالكالسيوم بوساطة تيار النتح. وإذا كان عصير الخشب ذا محتوى واطئ من الكالسيوم أو اذا كان معدل النتح للثمار واطئاً وهذا ما يحصل تحت الظروف الرطبة فان مستويات غير كافية من الكالسيوم ربما يتم تجهيزها إلى الثمار وهذا يسبب ظهور أعراض النقص. انتقال الكالسيوم في عصير الخشب ربما يقل عندما يغذي النبات بالأمونيوم أو عندما يكون المحتوى الرطوبي للتربة واطئاً أو عندما تتواجد تراكيز عالية من الأملاح في محلول التربة.

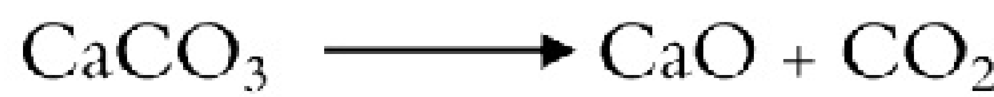
الاسترنتيوم Strontium

الكالسيوم والاسترنتيوم (Sr) ذو علاقة كيميائية متشابهة إذ إن هذين العنصرين يظهران سلوكاً متشابهاً في النبات. امتصاص وتوزيع هذين العنصرين بهذا يكون متشابهاً ولكن ليس ذا صيغة واحدة. وجد فيها بأن Sr^{2+}– لا يمكن أن يحل محل الكالسيوم في العمليات الفسيولوجية. التركيز العالي للاسترنتيوم في أنسجة النبات يكون ساما. أعراض السمية تظهر أولاً في الأوراق القديمة إذ تصبح هذه الأوراق البنية اللون وتبقع الأنسجة الميتة. امتصاص الاسترنتيوم يعاق بوجود الكالسيوم وبهذا فإن إضافة الجير تقلل من امتصاص

الاسترنتيوم. ومن ناحية أخرى فان النباتات ذات المحتوى الواطئ من الكالسيوم تمتص الاسترنتيوم بمعدل عال.

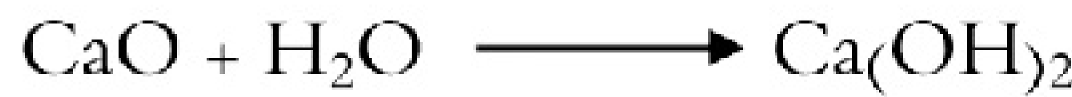
المواد الجيرية Liming Materials

الجدول(٢٤) يبين أهم المواد الجيرية. الكربونات بصورة مبسطة هي حجر الجير المطحون أو الـ Chalk، وان حرق الكربونات عند درجة ١١٠٠ درجة مئوية يؤدي إلى حصول تحلل حراري.



$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$$

الجير المحروق ينتج بهذه الطريقة أوكسيد الكالسيوم (CaO) المتكون يتفاعل مباشرة مع الماء وبذلك يتكون هيدروكسيد الكالسيوم (الجير المتميع أو الجير المطفأ). ويتلامس هذه المادة مع ثاني أوكسيد الكربون فتتكون كربونات الكالسيوم



$$CaO + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2$$



$$Ca(OH)_2 + CO_2 \longrightarrow CaCO_3 + H_2O$$

ومن هذا فإنه اذا بقى الجير المتميع معرضاً للهواء الجوي لمدة طويلة فإنه يتحول بصورة تدريجية إلى كربونات الكالسيوم بوساطة ثاني أوكسيد الكربون الجوي.

الجدول ٢٤: المواد الجيرية

الجيرية	الرمز الكيمياوي	قيمة التعادل في CaO
الجير أو الطباشير	$CaCO_3$	CaO- %٥٠
الجير المطفأ	$Ca(OH)_2$	CaO- %٧٠
الجير المحترق	CaO	CaO %٨٥

المواد الجيرية في أكثر الأحيان تحتوي أيضا على كميات كبيرة من المغنيسيوم بالإضافة إلى الكالسيوم. الجير المحترق الحاوي على المغنيسيوم كمثال يتركب من CaO و HgO ويحتوي على ٥,٥% مغنيسيوم، حجر الجير المطحون الحاوي على المغنيسيوم تستعمل بصورة خاصة عند الحاجة إلى الجير في الأتربة الحامضية التي تعاني من نقص المغنيسيوم. قيمة إضافة الجير تعتمد على مقدرته في أحداث التعادل Neutralizing Value التي يرمز لها بالمكافئ من CaO ١٠٠ كغم من كربونات الكالسيوم لها تأثير تعادلي مساوي إلى ٥٠ كغم CaO وبهذا فان المقدرة التعادلية لكل ١٠٠ كغم $CaCO_3$ هي

٥٠ بينما القيمة أو المقدرة التعادلية لكل ١٠٠ كغم $Ca(OH)_2$ هي ٧٠ المقدرة التعادلية Neutralizing Value تعود إلى كمية الكربونات أو الأوكسيد الموجود في المادة الجيرية فان $MgCO_3$ أو MgO أيضا تشارك في الكفاءة التعادلية. بصورة عامة كل الاوكسيدات والكربونات حتى السليكات ذات تفاعل قاعدي. ولهذا السبب فإن سليكات الكالسيوم الموجودة في Sinter- Phosphate و Basic Siags لها تأثير معادل ولهذا فأن لها بعض الأهمية في السيطرة على تفاعل التربة (Soil pH). في المساحات التي جهزت بصورة منتظمة بال Bastc Slags أنه في المساحات التي جهزت بصورة المساحات التي عوملت بكميات مكافئة من الأسمدة الفوسفاتية الأخرى فقد انخفض الرقم الهيدروجيني للتربة من ٦,٥ إلى ٥,٤ بردة قدرها عشر سنوات. بعض النفايات أيضا قد استعملت بوصفها مواداً قيريه وهذه المواد بصورة رئيسة هي كربونات. الفضلات الناتجة من تصنيع السكر لها قيمة أو مقدرة تعادلية قدرها ٢٠.

أهم الأغذية التي تحتوي كالسيوم

النباتية: اللوز، الجوز، البروكلي، الأرز، أوراق الفجل، الملفوف، السبانخ

الحيوانية: الجبن، الحليب، السلمون، اللبن، الكافيار، البيض

فوائد عنصر الكالسيوم للإنسان

١. يحمي من ترقق العظام، ويعزز نمو العظام والأسنان

٢. يعالج كساح الأطفال ولين العظام وقصور عمل الغدة الدرقية

٣. يستخدم لمعالجة التشنجات العضلية

٤. ترياق للتسمم بالمغنيسيوم

٥. يخفف الحامض في المعدة

٦. ينظم خفقان القلب وتخثر الدم وتقلص العضلات

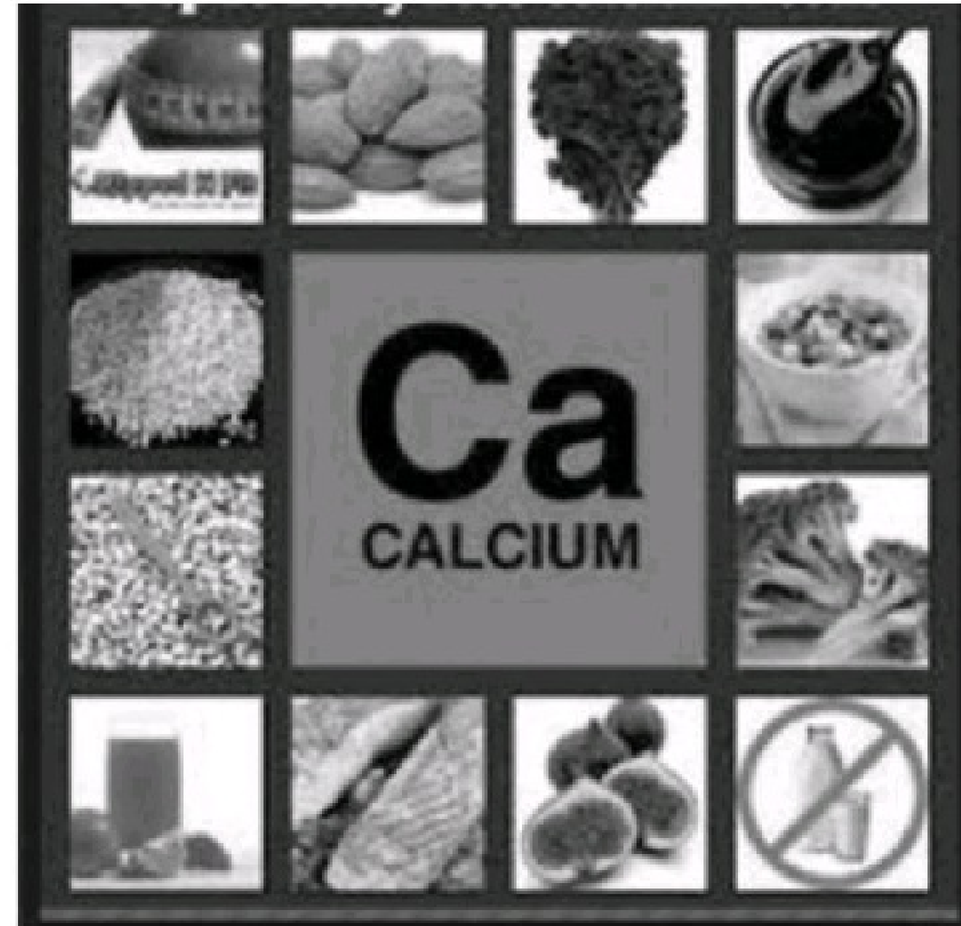
٧. يساعد في اطلاق بعض هرمونات الجسم

٨. يخفض ضغط الدم المرتفع

٩. يعالج تسمم النساء الحوامل ويخفف من سرطان القولون

١٠. تنظيم انتقال النبضات العصبية في الجهاز العصبي المركزي

١١. يساهم في التركيب البروتيني للحمضين النوويين DNA و RNA.



الأحتياجات اليومية للكالسيوم

الفئة	الكمية ملغرام/يوم
الأطفال	٨٠٠
المراهقون	١٢٠٠
النساء أقل من ٤٠ سنة	١٠٠٠
النساء فوق ٤٠ سنة	١٥٠٠
الرجال أقل من ٦٠ سنة	١٠٠٠
النساء والرجال فوق ٦٠ سنة	١٢٠٠
النساء الحوامل والمرضعات	١٢٠٠

الفصل العاشر

المغنيسيوم

استهلال

محتوى القشرة التربة من المغنيسيوم ١.٩٣%

يوجد في الترب الطينية بما يقارب ٠.٥% وفي الرملية ٠.٠٥%

يمتص المغنيسيوم من قبل النبات بهيئة Mg^{+2}

عند وجوده بشكل عال في الترب الجافة يؤدي إلى تسمم النباتات

مغنيسيوم التربة

محتوى معظم الأتربة من المغنيسيوم يتراوح بين ٠,٠٥غم/كغم للأتربة الرملية و ٠,٥ غم/كغم للأتربة الطينية. توجد مستويات عالية من المغنيسيوم في الأتربة الطينية وذلك لان المغنيسيوم يوجد في معادن المغنيسيوم الحاوية على الحديد مثل الـ Biotite و Serpentine و Hornblende و Olivine التي تكون تجويتها سهلة نسبياً، مع معدل لتراكيز Mg^{2+} ١٣٠، ٢٥٠، ١٥٠ و ٢٤٠ غم Mg/كغم على التوالي. فضلاً عن ذلك فإن المغنيسيوم يوجد في معادن الطين الثانوية مثل الـ Chlorite و Vermiculite وفي Illite و Montmorillonite بتراكيز أقل نسبياً. الدولومايت ($MgCO_3.\ CaCO_3$) هو اكثر كربونات المغنيسيوم أهمية. كربونات المغنيسيوم النقية (Magnesite, $MgCO_3$) يوجد فقط بكمية قليلة في الترب. وفي ترب المناطق الجافة وشبه الجافة قد توجد كميات كبيرة من المغنيسيوم على شكل $MgSO_4$. المغنيسيوم في الأتربة ربما يمكن أن يكون مشابها للبوتاسيوم. وانه أي المغنيسيوم يوجد على ثلاثة أشكال هي غير المتبادل والمتبادل والذائب في الماء وهذه الأشكال في حالة توازن، الجزء الكبير من مغنيسيوم التربة يوجد على شكل غير متبادل إذ أنه يضم كل المغنيسيوم الموجود في المعادن الأولية والمغنيسيوم الموجود في المعادن الطينية الثانوية إذ يتواجد بشكل رئيس كمركز كتأيوني في الطبقة ثمانية الأوجه أو الأسطح. هذا الجزء من المغنيسيوم يمكن أن يذوب عند التراكيز العالية للهيدروجين (pH اقل من ٣) ويرتبط ذلك بتحطم المعادن. المغنيسيوم غير المتبادل ربما يكون جاهزاً للبنات إذ إنه في الأتربة التي يكون محتواها من معادن الطين القابلة للتمدد عال ربما يكون كل من المغنيسيوم الموجود في صفائح هذه المعادن وبين طبقاتها جاهزاً للنبات. المغنيسيوم المتبادل اعتيادياً

يقرب من ٥% من المغنيسيوم الكلي وهذا الجزء من المغنيسيوم مع المغنيسيوم القابل للذوبان بالماء ذو أهمية كبيرة في تجهيز النبات. المغنيسيوم المتبادل اعتيادياً يكون مقارباً من ٤ إلى ٢٠% من السعة التبادلية الكاتيونية وهذه النسبة هي أقل من نسبة الكالسيوم التي تقرب من ٦٠ إلى ٨٠% من السعة التبادلية الكاتيونية. المغنيسيوم في محلول التربة يشبه الكالسيوم في محلول التربة إذ يتواجد بتراكيز عالية بعض الشيء وبمدى بضع مول/م^{3}، مستويات المغنيسيوم تتغير فلقد وجدت مستويات للمغنيسيوم بما يقرب من ١٠٠ مول/ م^{3}.. بعض المغنيسيوم يوجد بالتربة متحداً مع المادة العضوية ولكن هذا الجزء من المغنيسيوم تكون كميته اعتيادياً قليلة وهي اقل من ١% من كمية المغنيسيوم الكلي الموجود في التربة. من بين الكاتيونات ثنائية التكافؤ، المغنيسيوم ذات أوطئ إلفه لمعقدات التربة العضوية. أيونات المغنيسيوم تعد اكثر سهولة للغسيل من طبقات التربة العليا من الكالسيوم بسبب سمك الشبكة المائية المحيطة بالمغنيسيوم مما يجعلها تدمص بقوة أقل على غرويات التربة. فضلاً عن ذلك Mg^{2+} لا يرتبط ارتباطاً خاصاً بمعادن الطين كما هو الحال مع البوتاسيوم إذ معظمه يدمص في الطبقة البينية لمعادن البايلوسلكيت (Phyllosilicates 2:1. لهذا Mg^{2+} يكون معرضاً بكثرة لعملية الغسيل وان معدلات الغسيل هي بالمستوى ٢,٠ إلى ٣٠ ميغاغرام/ هكتار/ السنة. وجد في الترب الزراعية الكلسية في شمال فرنسا معدل ما فقد بالغسيل ٤,٠ كغم Mg/ هكتار. إن دخول البروتونات الـ Anthropogenic إلى بيئة التربة قد يشارك بتحطيم المعادن الحاملة للمغنيسيوم وبهذا يتحفز غسل Mg^{2+} لترب غابات السويد. إن معدل إزالة المغنيسيوم من الترب يعتمد على كمية المغنيسيوم التي تحتويها المعادن في التربة وعلى معدل التجوية وعلى شدة عملية الغسيل وكذلك على مغنيسيوم التربة الذي يمتصه النبات. في عدد من الأتربة يكون المغنيسيوم المتحرر بوساطة التجوية قادراً على معادلة المغنيسيوم الذي فقد بعملية الغسيل، والسبب هو عند المقارنة مع K^{+} فان معدل امتصاص Mg^{2+} بوساطة المحاصيل هو بوصف عام واطئ. في الأتربة الرملية يكون الفقد بعملية الغسيل في اكثر الأحيان اكبر من الكمية المتحررة بعملية التجوية. وفي مثل هذه الأتربة يكون محتوى طبقات الأتربة تحت السطحية من المغنيسيوم اعلى من محتوى طبقاتها العليا. وجد في ٦٣ مقداً للأتربة السويدية غير المزروعة بان معدل تشبع السعة التبادلية لطبقات التربة العليا (صفر- ٢٠سم) هو ١٧% (الرقم الهيدروجيني ٥,٤) بينما في الطبقات الموجودة تحت السطح (٤٠-٥٠سم) هو ٢٩% (الرقم الهيدروجيني ٥,٨). ان مستوى المغنيسيوم في الأتربة يعتمد بدرجة كبيرة على نوعيتها إذ إن الأتربة المتعرضة لعملية غسيل شديدة وتجويه عالية مثل أتربة الـ Podzols و Lateritic يكون محتواها من المغنيسيوم

واطئاً، والتي توجد في المناطق المنخفضة إذ يمكن أن تتجمع العناصر المغسولة مثل أتربة المستنقعات أو أتربة الـ Gleyed يكون محتواها من المغنيسيوم عالياً. هذه الحالة تنطبق على الأتربة التي لا تغسل مثل أتربة Solonchalk (Aridisols)، Solonetz, (Mollisols) التي طبيعياً تتواجد فيها أملاح Mg^{2+}. مادة الأصل أيضا تلعب دوراً في محتواها من المغنيسيوم، وبصورة عامة الأتربة المتكونة فوق صخور غنية بالمغنيسيوم مثل الـ Basalt و Peridotite و Dolomite تكون مجهزة بالمغنيسيوم بصورة جيدة. إن الـ Serpentines تركيبياً هي 1:1 معادن سليكاتية ولهذا فإنها تشابه الكاؤلونيت ولكن مع Fe^{2+}، Fe^{3+}، Mg^{2+}, وNi^{2+} تحل محل Al^{3+} للطبقات ثمانية الأوجه(Octahedral) الأتربة المشتقة من الـ Serpentine تكون تراكيز الـ Serpentine فيها بالمدى ٢٠٠ - ٩٠٠ غرام/ كغم اعتماداً على درجة التجوية ومع الـ Entisols يلاحظ التراكيز الأعلى. مثل هذه الترب يكون محتواها من المغنيسيوم الجاهز عالياً جداً وتكون نسبة Ca على Mg في معقد التبادل ذات قيمة واطئة وقد يظهر نقص في الكالسيوم في النباتات المزروعة فيها. فضلاً عن ذلك مستويات سامة من المعادن الثقيلة مثل Ni وCr قد تتواجد. ترب الـ Serpentine تدعم غطاء نباتي معين قد تأقلم لمثل هذه الظروف غير الاعتيادية.

مصادر المغنيسيوم في التربة

المعادن الأولية، مثل معدن البوتايت Biotite

المعادن الثانوية، مثل معدن الكلورايت Chlorite

يحدث للمغنيسيوم المتحرر نتيجة عمليات التجوية إلى داخل التربة

فقدان بعمليات الغسل

امتصاص من قبل النبات والكائنات الحية الأخرى

إدمصاص على سطوح حبيبات معادن الطين

ترسيب في محلول التربة على شكل معادن ثانوية

أشكال مغنيسيوم التربة

١. ذائب في محلول التربة

٢. متبادل على سطوح معادن الطين والمادة العضوية

٣. مثبت في المعادن الثانوية

00:10:52

الأول والثاني جاهزان ومتيسران وصالحان للنبات، ويشكلان تقريبا ٥% من المغنيسيوم الكلي

العوامل التي تؤثر على الجاهزية

١. نوعية التربة، التربة ذات النسجة الخشنة في المناطق الرطبة والترب الرسوبية الرملية قليلة المغنيسيوم

٢. المادة العضوية، تناسب طردي بين محتوى التربة من المادة العضوية والمغنيسيوم

٣. درجة تفاعل التربة، الترب الحامضية تسود في المناطق الرطبة وتعاني من نقص بالمغنيسيوم

٤. تأثير كاتيونات التربة، زيادة كل من الكالسيوم والبوتاسيوم تؤثر سلبا على جاهزية المغنيسيوم

المغنيسيوم في تغذية النبات

١. يحتل المغنيسيوم مركز جزيء الكلوروفيل في النبات، وهى الصبغة الخضراء التي تمكن النبات من استخدام الطاقة الشمسية في إنتاج المادة العضوية بالنبات حيث يدخل حوالي ١٥ – ٢٠% من المغنيسيوم الكلى في النبات في تركيب الكلوروفيل.

٢. مهم في نقل الكربوهيدرات من الأوراق إلى الساق.

٣. يعمل المغنيسيوم على تعزيز امتصاص وانتقال الفوسفات

٤. له علاقة بتمثيل الدهون والزيوت داخل النبات وكذلك فانه يدخل في تركيب الأنزيمات ويحافظ على نشاطها

٥. كذلك وجد أنه في حالة نقص المغنيسيوم يقل تمثيل البروتينات مما يعيق النمو في النبات.

٦. له دور هام في عملية البناء الضوئي ويعتبر منشطاً للعديد من الأنظمة الإنزيمية الخاصة بميتابوليزم الكربوهيدرات وبنائها وبدونه لا تحدث عملية البناء الضوئي

المغنيسيوم في فسلجه النبات

بصورة عامة تركيز Mg^{2+} في محلول التربة هو اكبر من تركيز K^+. ولكن معدل امتصاص Mg^{2+} بوساطة خلايا الجذر هي اقل بكثير من معدل امتصاص K^+. هذه المقدرة الواطئة للجذور لامتصاص Mg^{2+} مقارنة بالبوتاسيوم من المحتمل ليس محصورة بالجذور فقط بل أيضا تكون مع أجزاء النبات الأخرى كذلك. السبب في هذا السلوك غير واضح إلى وقتنا هذا. يستنتج بأن هذا الجهد الواطئ للامتصاص يعكس غياب ميكانيكية خاصة للامتصاص تنقل Mg^{2+} عبر غشاء البلازما. أن تركيز Mg^{2+} في محلول التربة هو عال نسبيا فإنه يستنتج بان النباتات لم تطور نظام امتصاص للمغنيسيوم كفوء وأن تدفق Mg^{2+} عبر غشاء البلازما لما قد يكون هو انتشار ميسر عبر قنوات اكثر أو أقل تخصصاً متبعه التدرج

الكيميائي الكهربائي للمغنيسيوم. وكذلك ليس هناك الكثير من المعروف عن تدفق Mg^{2+} عبر غشاء الفجوة. مادامت تراكيز Mg^{2+} في السايتوسول والفجوة هي بالمدى بضع مولات/ م^{3} وانها لا تختلف كثيراً فانه من الواضح بانه أيضا انتقال Mg^{2+} عبر غشاء الفجوة بوساطة الانتشار الميسر. في هذا الانتقال قد يؤدي التزاحم الكاتيوني دوراً رئيسياً وأن امتصاص Mg^{2+} يمكن أن ينخفض بشدة بوجود فائض من الكاتيونات الأخرى ولاسيما K^{+} و NH^{+}_{4} التي تمتص بمستويات عالية وانها قد تتنافس مع Mg^{2+} على السايتوسول المشحون بالشحنات السالبة. هذا التزاحم يقود إلى نقص في المغنيسيوم في النباتات. ليس عن طريق الامتصاص فحسب بل أيضا انتقال Mg^{2+} من الجذور إلى أجزاء النبات العليا يعاق بوساطةK^{+} وCa^{2+}. محتوى النبات العالي من المغنيسيوم يحصل عند التغذية بمستويات واطئة من البوتاسيوم. هذه المحتويات العالية من المغنيسيوم تفسر ببساطة كتأثير التركيز الناتج من المعدل الواطئ للنمو بل من المحتمل بان التأثير مباشرة يأتي من تحفز امتصاص المغنيسيوم عند المستويات الواطئة من البوتاسيوم. وجد بان امتصاص المغنيسيوم من قبل نبات فول الصويا كان عالياً عندما كان المحلول الغذائي خالياً من البوتاسيوم. ووجد زيادة بمحتوى المغنيسيوم في انسجه نبات الطماطم التي تعاني من نقص الكالسيوم. امتصاص المغنيسيوم من قبل النباتات في الكثير من الأحيان يكون واطئا في الترب الحامضية. هذه النتائج ليست من الجاهزية الواطئة للمغنيسيوم المرتبطة بالظروف الحامضية فحسب بل هي تعود بصورة مباشرة إلى المستوى الواطئ لدرجة التفاعل. تركيز H^{+} ليس بدرجة كبيرة عند زيادة مستوى أنواع كاتيونات الألمنيوم، هو الذي يثبط امتصاص Mg^{2+}. من ناحية أخرى Mg^{2+} ربما يقلل من امتصاص Mn^{2+}. منع ظهور أعراض سمية المنغنيز بزيادة مستويات التجهيز بالمغنيسيوم، وهناك أدلة على حصول نقص بامتصاص المنغنيز بوجود المغنيسيوم. المستويات العالية من البوتاسيوم المضاف في أكثر الأحيان تقلل من الامتصاص الكلي للمغنيسيوم فإن زيادة التجهيز بالبوتاسيوم تؤثر في محتوى أجزاء النبات المختلفة وبدرجات مختلفة. زيادة التجهيز بالبوتاسيوم يقلل من محتوى أوراق نبات الطماطم وجذوره من المغنيسيوم. محتوى الثمار من المغنيسيوم كان قد ازداد لدرجة ما بوجود التراكيز العالية من البوتاسيوم في المحلول الغذائي. هذه الملاحظات لم تكن نتائج عابرة إذ وجدت في نبات الطماطم المحصود لست مراحل. زيادة التجهيز بالبوتاسيوم أدت إلى زيادة محتوى بذور نبات الكتان من المغنيسيوم. البوتاسيوم يحفز ويشجع انتقال المغنيسيوم نحو الثمار والأنسجة الخازنة. وبصورة مغايرة للكالسيوم فان المغنيسيوم يعد عنصراً متحركاً في اللحاء ينتقل من الأوراق القديمة إلى الأوراق الحديثة أو إلى

Schimansky Apex. الشيء ذاته صحيح مع K^{+}. الثمار والأنسجة الخازنة تعتمد بصورة كبيرة على اللحاء بتجهيز العناصر الغذائية التي تحتاجها. ولذا فإن الأنسجة يكون محتواها من البوتاسيوم والمغنيسيوم عالياً مقارنة بالكالسيوم الجدول (٢٥) يبين تأثير زيادة التجهيز بالبوتاسيوم في المحتوى الكاتيوني لا جزاء نبات الطماطم المختلفة ومنها المغنيسيوم

الجدول ٢٥ : تأثير زيادة التجهيز بالبوتاسيوم في المحتوى الكاتيوني لا جزاء نبات الطماطم المختلفة

المعاملة	K	Na	Ca	Mg
مول K/م^٣ محلول غذائي	ملغم/غرام مادة جافة			
	الأوراق			
٢	٥,٠	٤,٠	٤٧	٦,١
١٠	٣٣	١,٩	٤٢	٢,٧
٢٠	٤٢	١,٨	٣٣	١,٥
	الجذور			
٢	٢,٠	٣,٦	٣٩	٣,٣
١٠	٢٢	٢,٥	٣٢	٣,١
٢٠	٢٤	١,٣	٣٣	٢,٦
	الثمار			
٢	١٦	١,٠	٠,٩	٠,٧
١٠	٢٥	٠,٧	٠,٨	٠,٨
٢٠	٢٧	٠,٦	٠,٧	٠,٩

00:11:04

فوائد المغنيسيوم للنبات

١. يعد جزاً مهما من مادة الكلوروفيل، وهو المفتاح المعدني له، حيث يشكل ٢.٧% من وزن جزيئه الكلوروفيل

٢. من العناصر الضرورية في تكوين سكريات النبات

٣. ناقل جيد للفوسفور داخل النبات، وينشط أنزيماته

٤. يحفز تكوين الدهون داخل البذور

٥. له دور مهم في نقل وتوزيع النشا

٦. لا تتكون البروتينات والأحماض الأمينية إلا بوجود المغنيسيوم

أعراض نقص المغنيسيوم على النبات

١. عنصر سهل الانتقال داخل النبات، لذا تظهر الأعراض على الأجزاء القديمة

٢. تكون الورقة صلبة متيبسة سريعة الانكسار والعروق الوسطية تكون ملتوية ويظهر اللون الأصفر

٣. عند النقص الشديد يظهر موت موضعي للأنسجة

٤. في الفاكهة تصفر الأوراق السفلى (يبدأ في رأس الورقة وحوافها وبين العروق ثم موت الأنسجة) وسقوط الورقة قبل أوانها خصوصا في التفاح، في الحمضيات تتلون الورقة باللون البرونزي ومن ثم تحترق وفي العنب تصفر الورقة ويقل الإنتاج.

٥. اصفرار عام للنبات وإذا استمر النقص فان ذلك يؤدي إلى موت النبات.

٦. اصفرار أطراف الأوراق وحوافها العليا مع بقاء العروق خضراء.

٧. النقص يظهر على الأوراق السفلى من النبات على عكس عنصر الكالسيوم.

٨. عنصر المغنيسيوم متحرك نسبيا داخل النبات.

٩. كذلك وجد أنه في حالة نقص المغنيسيوم يقل تمثيل البروتينات مما يعيق النمو في النبات.

علاج نقص المغنيسيوم:

يعالج نقص المغنيسيوم من خلال إضافة أحد أسمدة المغنيسيوم المخلبية أو على شكل كبريتات المغنيسيوم إلى التربة أو مع مياه الري أو عن طريق رش النبات. أو كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم للترب الحامضية.

أسمدة المغنيسيوم

أسمدة المغنيسيوم الرئيسة المستعملة ومحتواها التقريبي من المغنيسيوم موجودة في الجدول (٢٦). يجهز المغنيسيوم على شكل كربونات أو اوكسيدات أو كبريتات، وبصورة عامة تعد أسمدة الكبريتات أسرع تأثيراً من أسمدة الكربونات ولكنها أغلى سعراً أيضا. إضافة الجير الحاوي على المغنيسيوم ذات فائدة خاصة للأتربة الحامضية التي تحتاج إلى إضافة الجير بصورة منتظمة. إن الرقم الهيدروجيني الواطئ يساعد على تحلل الجير الحاوي على المغنيسيوم (Dolomite). في الأتربة المتعادلة تكون إضافة كبريتات المغنيسيوم (Kieserite) ملائمة جداً للأتربة المعدة للزراعة وذات الاحتياج الكبير للمغنيسيوم.

الجدول ٢٦: الأسمدة المعدنية للمغنيسيوم

الأسمدة	غرام Mg / كغم
الجير الحاوي على المغنيسيوم (كربونات المغنيسيوم)	٣٠-١٢٠
أوكسيد المغنيسيوم	٦-٢٠٠
kieserite ($MgSO_4 . H_2O$)	١٦٠
سلفات المغنيسيوم ($Epsom\ salts = MgSO_4 . 7H_2O$)	٩٦
كبريتات المغنيسيوم والبوتاسيوم ($K_2DSO_4 . MgSO_4$)	٦٦
كربونات المغنيسيوم ($Magnesite = MgCO_3$)	٢٧٠

إن أشكال كبريتات المغنيسيوم المختلفة تختلف من حيث درجة ذوبانها. سلفات المغنيسيوم على الرغم من ارتفاع أسعارها فهي اكثر ذوباناً من الـ Kieserite. هذا الاختلاف له تأثير من الناحية التطبيقية، هناك حاجة إلى ٥٠٠ كغم/ هكتار من كبريتات المغنيسيوم على شكل Kieserite لمنع حدوث حالة نقص في المغنيسيوم في نبات الطماطم، بينما يمكن تلافي هذا النقص والسيطرة عليه بإضافة ٣٥ كغم/ هكتار من سلفات المغنيسيوم مذابة في ٤٠٠ لتر ماء. الأسمدة التي تحتوي على نسبة قليلة من المغنيسيوم مثل الـ Kainite والـ Basic Slages وبعض الأسمدة من PK و NPK تكون مفيدة في المحافظة على مستوى المغنيسيوم في التربة. في حالة وجود حالة نقص في المغنيسيوم فانه يفضل استعمال أسمدة

المغنيسيوم ذات النسب العالية. إضافة المغنيسيوم ولاسيما برفقة Si زاد من حاصل الحبوب بصورة ملحوظة. السماد الأخر للمغنيسيوم الذي لم يذكر ضمن مجاميع الكبريتات والكربونات هو فوسفات المغنيسيوم الامونية، وهذا السماد قليل الذوبان ويستعمل في البستنة ولاسيما للنباتات الصغيرة العمر والحساسة لأشكال المغنيسيوم الأخرى. القيمة النسبية لأسمدة المغنيسيوم المختلفة وكذلك استعمال المصادر الأخرى للمغنيسيوم مثل السماد الحقلي والـ Basic Slage والمواد الجيرية. إن معدلات إضافة المغنيسيوم إلى الأتربة الرملية هي بين ٥٠ إلى ١٠٠ كغم Mg/ هكتار. هذه المعدلات أدت إلى زيادة الحاصل لأنواع مختلفة من المحاصيل في الأتربة الرملية أظهرت البطاطا بصورة خاصة استجابات لمعاملات المغنيسيوم. إضافة المغنيسيوم للنباتات العلفية ذات أهمية كبيرة في تغذية الحيوان. لأن الزراعة الكثيفة للأعلاف تؤدي إلى وجود محتوى قليل من المغنيسيوم الجاهز في هذه الأعلاف الذي لا يلبي احتياجات الأبقار الحلوبة ولهذا فإنها تعاني من الـ Grass Tetany (Hypomagnesaemia). مشكلة هذا المرض ووظيفة Mg في العمليات الحيوية للحيوان.

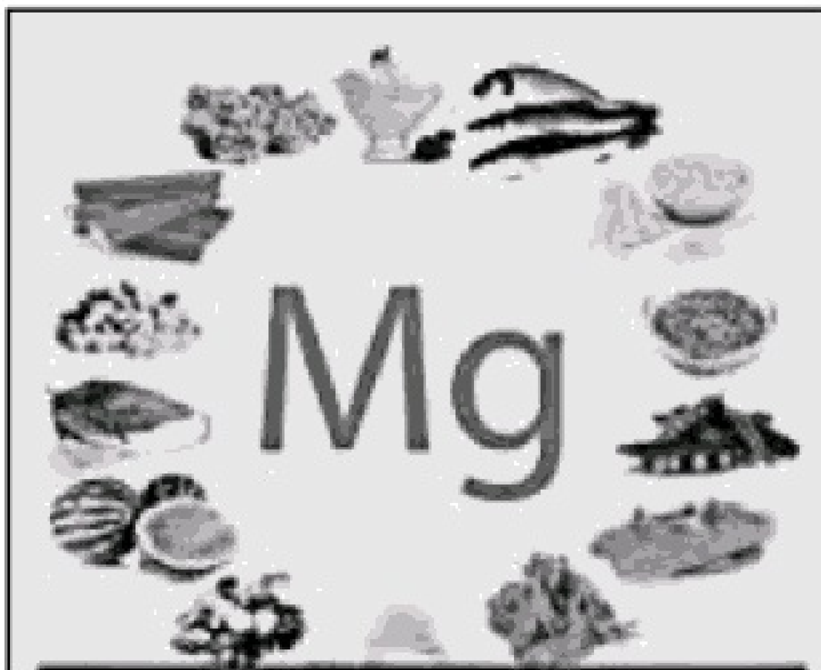
ملحوظات حول التسميد بالمغنيسيوم

كبريتات المغنيسيوم أفضل من كربونات المغنيسيوم

في الترب الحامضية يفضل إضافة الدولومايت

فوسفات الأمونيوم-المغنيسيوم، عالي الذوبانية ويحتوي النتروجين والفوسفور، ينصح لنباتات البستنة.

أهم الأغذية التي تحتوي مغنيسيوم

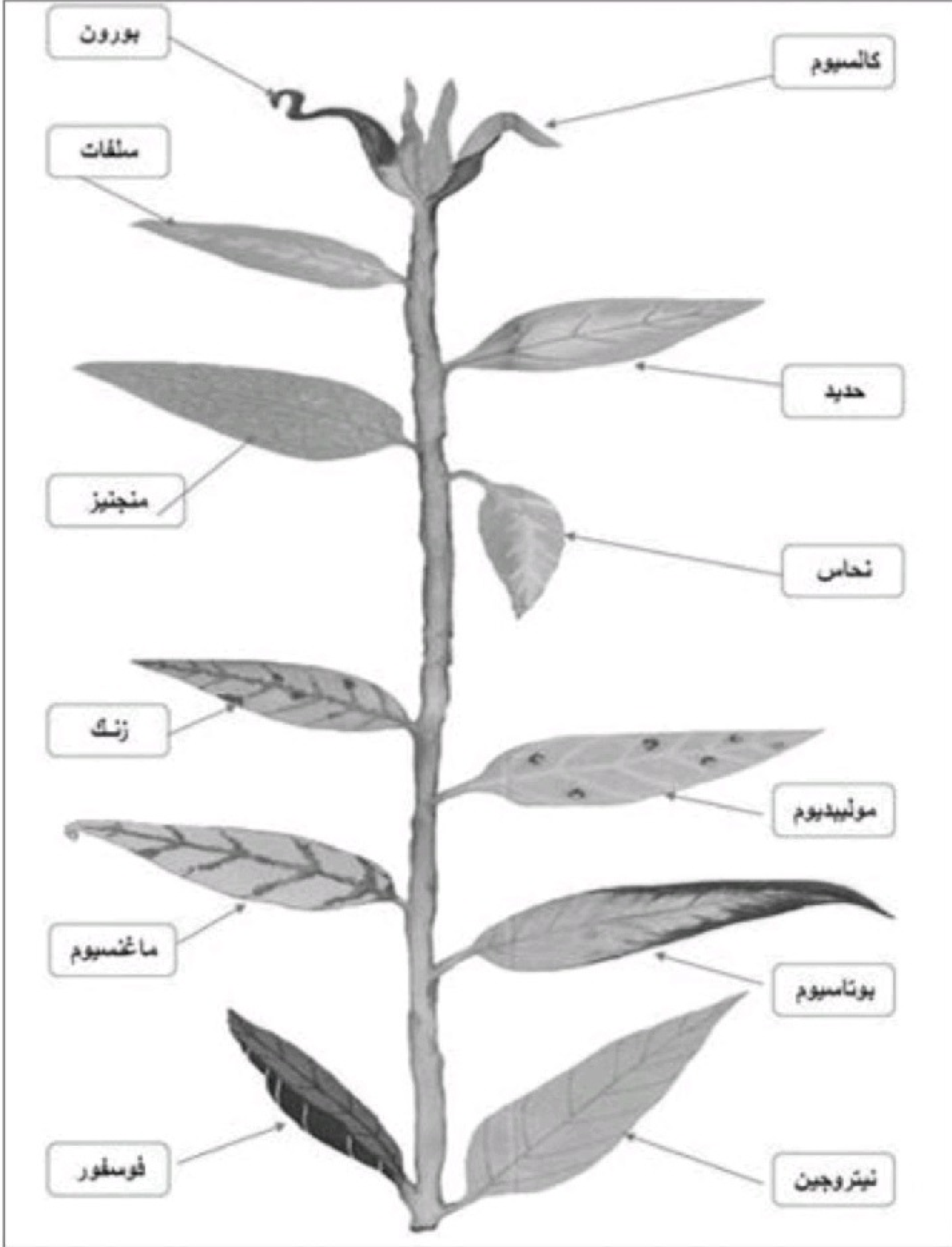


النباتية: اللوز، أفوكادو، الموز، المكسرات، الملفوف، الحنطة

الحيوانية: السمك، الحليب ومشتقاته

فوائد عنصر المغنيسيوم للإنسان

١. يساعد في نمو العظام ويساعد العضلات والأعصاب في عملها
٢. تنظيم الإيقاع الطبيعي للقلب ويراقب الدفعات العصبية
٣. ملين عند الجرعات الكبيرة يعالج بعض أمراض القلب
٤. مضاد لحموضة المعدة عند الجرعات الصغيرة
٥. يخفف من التسمم بالرصاص ويخفف من حصى الكلى
٦. ينشط الأنزيمات الأساسية



أعراض نقص العناصر الغذائية على النبات

الفصل الحادي عشر
الكبريت

استهلال

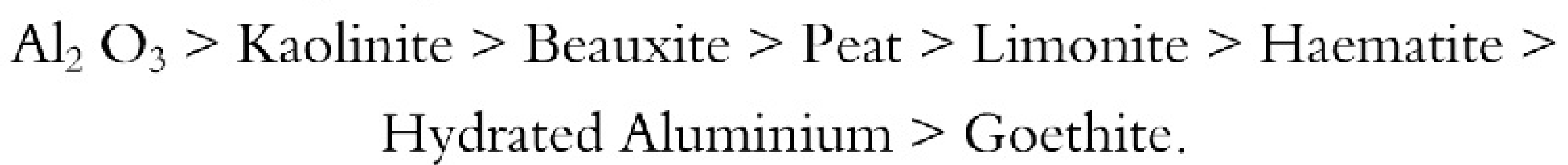
- يوجد في الطبيعة بصورة صلبة (مسحوق اصفر اللون) أو سائلة
- عنصر متحرك، يمتص من قبل النبات على شكل كبريتات SO_4^{-2}، ثم يختزل في النبات إلى كبريت أو سلفوهيدروكسيل
- النباتات الراقية تمتص الكبريت من التربة في صورة كبريتات، كما تمتص كمية قليلة منه عن طريق الأوراق على شكل ثاني أوكسيد الكبريت (SO_2) كما إن الثيوسلفات Thiosulfate ($S_2O_3^{-2}$) يمكن إن يمتص من قبل الجذور
- من العناصر المهمة للإنسان والحيوان والنبات والكائنات الحية الدقيقة
- يتراوح محتوى قشرة التربة من هذا العنصر بين ٠.٠٦–٠.١٠%
- إن المحتوى الكلي لأنسجة النبات من الكبريت يتراوح بين ٠.١–٠.٥% من المادة الجافة
- يوجد بشكل عضوي وغير عضوي، ولكن في معظم الترب يعد الكبريت المقيد عضويا هو المخزن الرئيس للكبريت في التربة لاسيما تحت الظروف المناخية الرطبة
- يوجد الكبريت المعدني في الترب في مركبات كبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والصوديوم، وهي مركبات تذوب في الماء
- يكثر وجود الكبريت في الطبقة السطحية من التربة وان كمية عالية من الكبريت يمكن إن تختزل داخل النبات على أشكال S–S– و SH
- تعتبر المادة العضوية مخزن للكبريت في التربة
- استخدام الأسمدة الخالية من الكبريت وزراعة محاليل تحتاج إلى الكبريت بكميات كبيرة، أدى إلى ظهور أعراض نقص الكبريت في التربة وعلى النباتات
- نسبة C :N :S ١٠:١٢٥: ١.٢ في التربة الجيدة

- عند إضافة الكبريت المعدني (Elemental sulfur) للتربة فانه يتأكسد بفعل بكتريا من جنس Thiobacillus مكونا حامض الكبريتيك وهذا الحامض الناتج يؤدي إلى خفض pH التربة وزيادة حموضتها
- إدمصاص الكبريتات يزداد عند انخفاض الرقم الهيدروجيني للتربة
- الكبريت العضوي في التربة يتأكسد إلى الكبريتات الصالحة للامتصاص من قبل النبات، وهذه العملية تتم من خلال بكتريا (Thiobacillus)
- المحتوى الكلي لأنسجة النبات من الكبريت هو ما يقارب من ٠.٢-٠.٥% في المادة الجافة
- وتشير الدراسات إلى أن لإضافة الكبريت المعدني أو مخلفاته تأثير معنوي في زيادة ملوحة التربة
- إن زيادة تركيزه في الجو تسبب انخفاض في نمو النبات
- يحتوي جسم الإنسان (٧٠ كغم) على ١٤٠ غرام كبريت

كبريت التربة

الكبريت يتواجد في التربة بشكلين العضوي والمعدني، ولكن في معظم الترب الكبريت المقيد عضوياً يعد المخزن الرئيس للكبريت. في معظم المراحل في ترب المناطق الرطبة وشبه الرطبة مدى الكبريت الكلي هو من ١٠٠ إلى ١٠٠٠ ملغرام S/ كغم وهذا المدى مشابه لمدة الفسفور الكلي. تركيز الكبريت العضوي بوصف عام يقل مع عمق التربة ويصل إلى الصفر عند العمق أكثر من ١.٥م. في الترب (Peat Soils) ذات المحتوى العالي من الأنسجة النباتية المتحللة يشكل الكبريت المقيد عضوياً ١٠% من الكبريت الكلي. إن نسبة C:N:S في مادة التربة العضوية تقدر تقريباً بـ 125:10:1.2. كبريت مادة التربة العضوية وينقسم إلى جزأين هما الكبريت المحجوز بالكربون(Carbon Bonded Sulphur) والكبريت غير المحجوز بالكربون (Non Carbon Bondcd Sulphur) . هذان الجزاءان يمكن التفريق بينهما بمعاملتها بحامض الهيدروكلوريك مادام أن S غير المحجوز بالكربون يمكن أن يختزل إلى H_2S، تضم مركبات ذات رابطة من C-O-S ككبريتات الاستر العضوية (Organic Ester Suphate) أو الرابطة C-N-S مثل Sulphamate. الكبريت المحجوز بالكربون يختزل ويتواجد في Cysteine وMethionine التي فيها ذرة S قد استقبلت -E من كلا المرافقين المرتبطين بها. إن استرات الكبريتات تستطيع أن تتحلل مائياً بشكل سريع بوساطة Sulphatases التربة، لهذا فان S المتواجدة تصبح جاهزة بسرعة لامتصاص النبات. وبشكل مغاير فان معدنة S المختزلة في مادة التربة العضوية تستمر بمستوى واطئ

جداً. العملية المعاكسة لمعدنة الكبريت العضوي (Mineralization Of Organic S) هي تحول الكبريت المعدني إلى كبريت غير متحرك (Immobilization Of Inorganic S) يمكن أيضا أن تحصل بوساطة التمثيل الميكروبي. لقد وجد هذان الباحثان بأنه تحت زراعة ryegrass تركيز S العضوي يزداد. المسار الكيميائي الحيوي لتمثيل الكبريت يتضمن اختزال SO_4^{2-} إلى sulphide التي ترتبط مع الـ Serine لتكوين cysteine وبهذا فهناك تشابه واضح مع اختزال الكبريتات بوساطة النباتات الراقية. إن حصول عملية immobilization على SO_4^{2-} في الترب تحصل بشكل رئيس بوساطة النشاط الميكروبي وان تحول S إلى الكتلة الميكروبية تكون ظروفه المفضلة لدرجة كبيرة بإضافة مصادر الكربون مثل قش محاصيل الحبوب ذات النسبة الواسعة من C:S. إن شكل كبريت التربة غير العضوي يكون بصورة رئيسة من الكبريتات SO_4^{2-}. في المناطق الجافة ربما يتجمع في التربة كميات عالية من الأملاح مثل $CaSO_4$ و$MgSO_4$ و$NaSO_4$. الكبريتات لربما تتواجد ذائبة في محلول التربة أو مدمصة على غرويات التربة وكليهما في حالة توازن ديناميكي. الكبريتات مثل الفوسفات تدمص على معادن الطين والأكاسيد sesquioxides وقوة الربط للكبريتات ليس بالقوة التي تربط بها الفوسفات، وان السعة الإدمصاصية للكبريتات (Sulphate Adsorption Capacity) تتبع التدرج الآتي:


Al_2O_3 > Kaolinite > Beauxite > Peat > Limonite > Haematite > Hydrated Aluminium > Goethite.

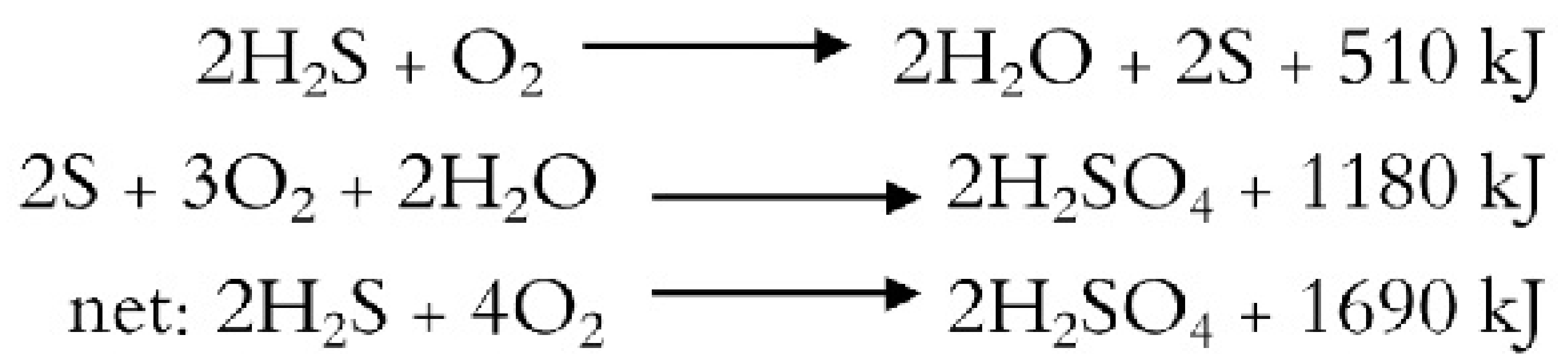
الكبريتات قد تدمص بوصفه معقداً أحادي النواة (mononuclear) أو معقداً ثنائي النواة (binuclear). الإدمصاص بوساطة التبادل مع مجاميع الهيدروكسيل السطحية إذ بوساطتها الكبريتات تحل محل OH^- الرابطة للحديد أو الألمنيوم لتكون رابطة مزدوجة مع السطح. في المعقد أحادي النواة جزيئتان من الكبريتات ترتبط Fe^{+3} واحدة بينما في المعقدة ثنائي النواة جزيئة واحدة من الكبريتات تحل محل اثنتين من OH_2^+ لترتبط بنواتين من Fe^{+3} عند درجة التفاعل المنخفضة المعقد أحادي النواة هو السائد. هذا الارتباط قوي جداً وأقوى من إدمصاص الماء ولذا فان الارتباط أحادي النواة للكبريتات عُدّ غير عكسي. إن الإدمصاص الاستاتكي الكهربائي (electrostatically) للكبريتات (ليس متخصصاً) للجهات التي تحمل شحنات موجبة كإدمصاص NO_3^- وCl^-. هناك الآن بعض الأدلة بان هذا الشكل من الإدمصاص للكبريتات هو اضعف أشكال الإدمصاص وهو أهم جداً مما قد عرف بالأساس

إن الإدمصاص غير المتخصص للكبريتات المعتمد على درجة التفاعل يختلف بدرجة كبيرة بين أنواع الترب. ان قوة إدمصاص معادن الطين للكبريتات وقدرته تتبع الآتي



Kaolinite > Illite > Bentonite

قوة إدمصاص الكبريتات تقل بزيادة درجة تفاعل التربة. وجد علاقات ارتباطية معنوية بين درجة تفاعل التربة ومحتوى الترب من الكبريتات المتبادلة في ترب Piedmont. وهناك أيضا علاقة واضحة بين محتوى الترب من الطين والمحتوى من الكبريتات المتبادلة إذ أن الكبريتات المتبادلة تزداد مع زيادة المحتوى الطيني. تحت الظروف الغدقة يوجد الكبريت غير العضوي بأشكال مختزلة مثل FeS وFeS_2(Pyrites)، وH_2S. مستويات كبريت التربة الكلية تعتمد على محتوى التربة من المادة العضوية وكذلك أيضا على الظروف المناخية. تحت الظروف الرطبة كميات عالية من الكبريتات تغسل، بينما في المناطق الدافئة تتجمع الكبريتات في طبقة التربة السطحية. أتربة المناطق المعتدلة يكون محتواها عالياً من الكبريت إذا كان محتواها من المادة العضوية عالياً أيضا. التعدين الميكروبي للكبريت العضوي في الترب تحت الظروف غير الهوائية يؤدي إلى تكوين H_2S، وإذا تبع ذلك ظروف هوائية فان H_2S الذي تكون يتأكسد ذاتياً (autoxidation) وبسرعة إلى SO_4^{2-}. في الوسط غير الهوائي فان H_2S يتأكسد إلى S بوساطة بكتريا الكبريت من نوع *Chemotrophic* (*Beggiatoa, Thiothrix*). البكتريا نفسها تستطيع أيضا أن تؤكسد S إلى H_2SO_4 تحت الظروف الهوائية. إن S أيضا يتأكسد بوساطة البكتريا Chemotrophic من جنس *Thiobacillus* . العملية بصورة عامة يمكن أن تفسر بالمعادلات الآتية:



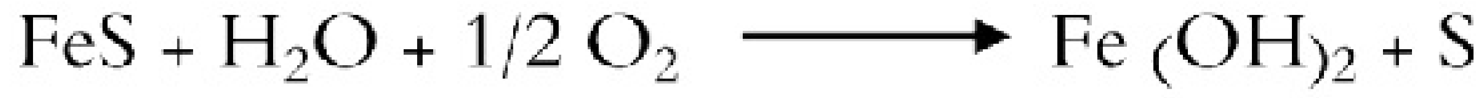
$$2H_2S + O_2 \longrightarrow 2H_2O + 2S + 510\ kJ$$

$$2S + 3O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2H_2SO_4 + 1180\ kJ$$

$$\text{net: } 2H_2S + 4O_2 \longrightarrow 2H_2SO_4 + 1690\ kJ$$

من هذه المعادلات يتضح بان أكسدة الكبريت تؤدي إلى تكون حامض الكبريتيك وهذا مما يؤدي إلى زيادة حموضة التربة. بهذه الطريقة تتكون ترب حامضية من الكبريتات. بسبب درجة التفاعل المنخفضة جداً هذه الترب غنية جداً بالألمنيوم المتبادل وبذلك تكون غير خصبة بدرجة كبيرة وهي بحاجة إلى تحسين (Ameliorate). أكسدة S هي بوصف عام عملية ميكروبية في الأراضي الزراعية ولكن قد أيضا تحصل حيوياً (Biotically) إن الحموضة الناتجة من إضافة الكبريت (S) إلى التربة تجري بهذه العملية نفسها. إن إضافة الكبريت إلى التربة تستعمل في بعض الأحيان لخفض الرقم الهيدروجيني للتربة القاعدية. وبطريق مشابهة

للتفاعلات نفسها التي ذكرت أعلاه بالمعادلات يمكن أن تجري على FeS الذي يتأكسد بيولوجيا وكيميائياً. كما في المعادلة الآتية إلى S:

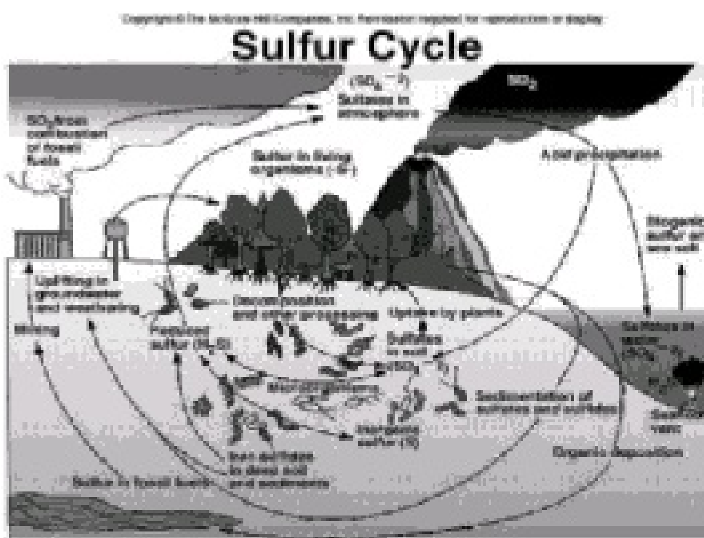


$$FeS + H_2O + 1/2\ O_2 \longrightarrow Fe\ (OH)_2 + S$$

تحت ظروف الاختزال في التربة (الترب الغدقة، وترب حقول الرز) يتكون H_2S الذي هو أهم النواتج النهائية لتحطم S غير الهوائي وتحلله، وان Sulphides العضوية مثل Methyl And Butyl Sulphides أيضا تتكون والتي تشبه H_2S إذ أن كليهما يتصفان برائحة كريهة. هذه الأكسدة تحصل بوساطة بكتريا التركيب الضوئي الخضراء والأرجوانية إذ تقوم هذه البكتريا باستهلاك الهيدروجين من جزيئة H_2S كالكترون يستعمل في الانتقال الإلكتروني لعملية التركيب الضوئي. عندما يعاق حدوث هذه العملية فان H_2S ربما يتجمع إلى المستوى السمي وبذلك يسبب ضرراً لنمو النبات. إن التأثير الضار لـ H_2S يمكن يقلل وذلك بإضافة أملاح الحديدوز التي تكون FeS الذائب. اختزال الكبريتات تحت الظروف غير الهوائية يكون بوساطة البكتريا من الجنس *Desulfovibrio*. هذه البكتريا تستخدم أوكسجين SO_4^{2-} بوصفه مستقبلاً رئيساً للإلكترون. أن معظم الترب هوائية فهي تعد مفضلة لتكون SO_4^{2-}، وان تركيز SO_4^{2-} في محلول التربة يمثل الاتزان الديناميكي للعمليات التي تؤدي إلى التكوين أو الإزالة. وبما أن هذا الأيون هو متحرك نسبياً في الترب فان بعض SO_4^{2-} تفقد بعملية الغسيل.

تعد الكبريتات هي الصورة المهمة التي يمتص عن طريقها النبات الكبريت من التربة. إن قسم من الكبريتات الممتصة تتحول بداخل النبات إلى شكل عضوي. الكبريت العضوي الموجود في مادة النبات المتبقية والميتة في التربة يشترك كذلك بدورة الكبريت. تحت ظروف الاختزال H_2S تنتج. بعض من H_2S يمكن أن يتحرر إلى الغلاف الجوي وبذلك يفقد من نظام التربة.

مصادر الكبريت في التربة



١. معادن الصخور في باطن التربة عند تعرضها لعمليات التجوية الكيميائية والفيزيائية

٢. الكبريت الجوي الناتج من الحرق الموجود في المعامل والمصانع والذي يعود إلى التربة عن طريق الأمطار، كذلك ينتج الكبريت الجوي من التحلل اللاهوائي للمادة العضوية في المستنقعات والأهوار

٣. الكبريت العضوي خصوصا في الترب العضوية، والكبريت العضوي في صورتين، هما الكبريت المحجوز بالكاربون (مع الأحماض الأمينية) وكبريت غير محجوز بالكاربون (مركبات فنوليه ودهون)

٤. الأسمدة الكيميائية المضافة للتربة والحاوية على الكبريت

الكبريت في فسلجه النبات

إن مصدر S الأهم للنباتات هو SO_4^{2-}، وامتصاصه عبر غشاء (البلازما لما) هو انتقال مساعد بالهيدروجين (H^+Cotransport) الذي فيه تشترك ثلاثة أيونات من الهيدروجين ($3H^+$) لكل جزيئة كبريتات. نباتات الطماطم التي تعاني من نقص S لها نشاط عال في نقل S عبر غشاء البلازما وكذلك يكون نشاط أنزيم ATP Sulphurylase فيها عاليا، وهذا الأنزيم هو ضروري في تمثيل الكبريتات. معظم نواقل الكبريتات التي تم تحليلها تحل شفرتها بعائلة من الجينات. النواقل ذات الألفة العالية توجد بشكل رئيس في غشاء البلازما لما للجذور ولها KM تقرب من ١٠٠ ملمول / م^{٣}، والنواقل ذات الألفة الواطئة لها KM تقرب من ١٠٠ مول / م^{٣} في غشاء البلازما لما للأوراق. انتقال الكبريتات عبر غشاء الفجوة يقاد بوساطة التدرج الكهربائي بين الفجوة والسايتوسول. النباتات قد تأخذ أيضا H_2S و SO_2 من الغلاف الجوي وان الجزء الأعلى من النبات (Canopy) يعمل بوصفه مستقبلاً قوياً لترسيب SO. العناصر الغذائية الأخرى للنبات نادراً ما تؤثر في امتصاص SO_4^{2-} من قبل خلايا النبات. إن الأيون Selenate الذي ذات صلة وثيقة كيميائياً بالكبريتات يثبط امتصاص SO_4 بقوة وهذا يوضح بان كلا النوعين من الأيونين قد يتنافسان على نظام امتصاصي واحد (Same uptuke system). إن البروتين الناقل للكبريتات الموجود في غشاء البلازما لما يحتاج إلى تدرج بالرقم الهيدروجيني مع درجة التفاعل في الوسط الخارجي اقل مما هي عليه في السايتوسول. انتقال SO_4^{2-} من السايتوسول إلى الفجوة هو انتقال إلى الأسفل (Downhill Transport) الذي يعني بان SO_4^{2-} تتبع التدرج الكيميائي الذي بني بوساطة الضخ الهيدروجيني لغشاء الفجوة في دراسة لامتصاص الكبريتات من قبل كلوروبلاست جذور الذرة الصفراء، بان الامتصاص يتحفز بانخفاض درجة تفاعل المحلول الخارجي. إلى وقتنا هذا غير واضح فيما إذا SO_4^{2-} المخزونة في الفجوة يمكن أن يعاد تحويلها لأهداف حيوية أيضية.

الكبريتات التي امتصتها جذور النبات تتوزع داخل النبات بوساطة النقل بالخشب واللحاء. الانتقال اللحائي للكبريت (S) من الأوراق القديمة إلى الأوراق الحديثة يمكن -في الكثير من الأحيان- يكون ضعيفاً وهذا هو السبب في ظهور حالة النقص بالكبريت في الكثير من الأحيان. SO_4^{2-} المخزونة في

الفجوات لخلايا النسيج الأوسط (Mesophyll Cells) تتحرر فقط تحت ظروف إجهاد الكبريت (S-Stress) لمدة طويلة وانه بطيء جداً لمساندة النموات الحديثة. ومع ذلك فان S متحرك في اللحاء. وانـه حتمـاً مـادام اختـزال الكبريتـات يعتمـد علـى الضـوء بدرجـة كبـيرة. ويحصـل بدرجـة سـائدة في كلوروبلاست الأوراق الناضجة. فان الجذور تعتمد على انتقال S المختزل من الأجزاء العليا للنبات.

الكبريت في تغذية النبات

١. يعتبر أساسي لعملية تمثيل البروتين لكونه احد مكونات الأحماض الأمينية والمرافقات الإنزيمية.

٢. يدخل في تكوين السيتوكروم وفيتامين الثيامين والبيوتين ويلعب دورا مهما في عملية التنفس النباتي.

٣. يدخل في تكوين العقد الجذرية كما في البقوليات وتنشيط إنزيم اختزال النترات.

٤. يساهم في تكوين المجموع الجذري وتطويره وكذلك تكوين الكلوروفيل.

٥. له دور مهم في تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة الكيميائية.

٦. يدخل في تكوين المواد الطيارة مثل زيت الخردل والثيوكبريتات في البصل والثوم .

فوائد الكبريت للنبات

١ . يشترك في تركيب بعض الأحماض الأمينية كالـ Cysteine و Cystine و Methionine التي تتكون منها البروتينات والتي تشمل ٩٠% من الكبريت في النبات.

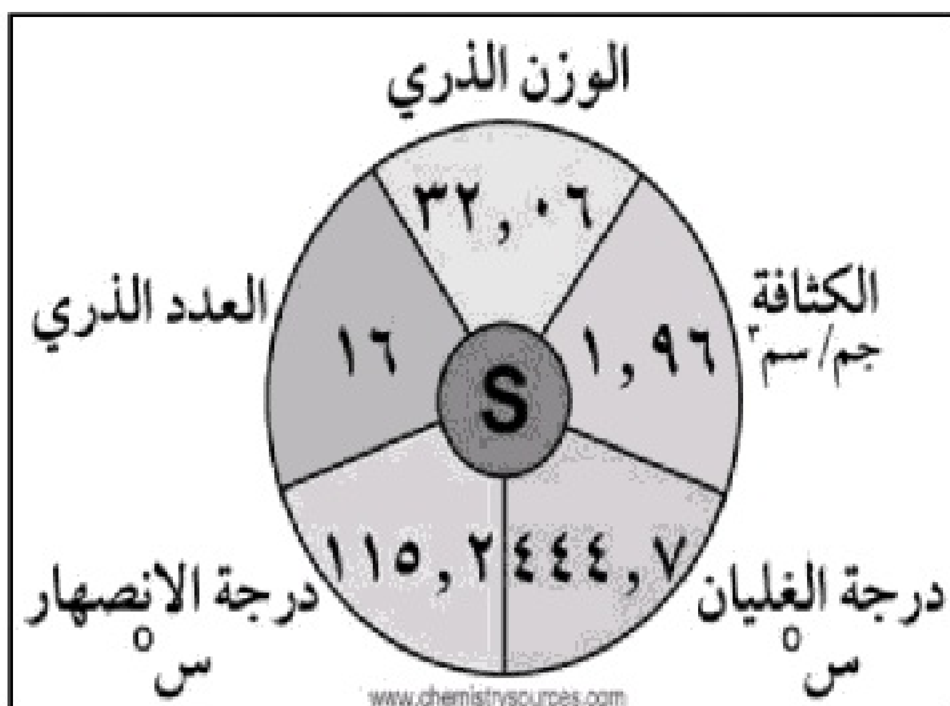
٢ . يدخل في تركيب بعض الفيتامينات مثل Biotin والـ Thiamin والـ Lipoic acid.

٣ . يعد الكبريت جزءا حيويا من الـ Ferredoxin المهم في اختزال النترات والكبريتات وتثبيت النتروجين الجوي بوساطة بكتريا العقد الجذرية وكذلك البكتريا الحرة المثبتة للنتروجين.

٤ . يلعب الكبريت دورا في تكوين الكلوروفيل على الرغم من عدم اشتراكه في تركيبها.

٥ . يشترك في بناء المرافق الإنزيمية Co enzymes A الذي يشترك في عمليات الأكسدة وبناء الأحماض الدهنية والأحماض الأمينية.

٦ . يشترك الكبريت في عمليات الأكسدة والاختزال، وله أهمية في اختزال النترات إلى أمين الذي يتحد مع الأحماض العضوية لإنتاج أحماض أمينية ومن ثم إلى بروتين.



أعراض نقص الكبريت

١. لأنه عنصر متحرك، لذا تظهر أعراض النقص على الأوراق القديمة

٢. تتلون الأوراق باللون الأصفر وهي صفة تشترك مع نقص النتروجين، ولكن الاصفرار في حالة نقص الكبريت يتحرك إلى جميع أجزاء النبات ويكون شاحب ولا تسقط الورقة كما هو الحال عند نقص النتروجين

٣. تكون النباتات صلبة وقابلة للتكسر والسيقان والجذور ضعيفة وفي الأشجار تجف فروع الأشجار

علاج نقص الكبريت

إضافة الكبريت الحر أو الجبس أو سلفات البوتاسيوم أو سلفات الأمونيوم للتربة أو مع مياه الري أو عن طريق الرش على النبات بالنسبة للذائب فيها.



أهم الأغذية التي تحتوي كبريت

النباتية: الفاصوليا، الثوم، البصل، الكراث، الحنطة، القرنبيط

الحيوانية: البيض، السمك، لحم الغنم، الحليب، الدواجن



فوائد عنصر الكبريت للإنسان

١. يخفف من تفاعلات الأكسدة

٢. يساعد على إفراز الصفراء من الكبد

٣. يحمي الجسم من تأثيرات المواد السامة

٤. يخفف من أعراض التهاب المفاصل

٥. يعالج بعض أنواع الحساسية

٦. يعالج بعض أمراض الجلد

٧. يؤدي نقص الكبريت إلى الخمول، الإعياء، التهاب مفاصل، حساسية، ربو، حب شباب، ذات الذئبة، عدوى فطر الكانديدا.

الفصل الثاني عشر

الحديد

تمهيد

٩٩٪ من العناصر الموجودة في أنسجة الإنسان والحيوان والنبات هي عناصر كبرى (يحتاجها الكائن الحي) بكميات كبيرة و ١٪ عناصر صغرى (يحتاجها الكائن الحي) بكميات قليلة، ورغم كل ذلك لا يستطيع الكائن الحي الاستغناء عنها إطلاقا.

أهمية العناصر الغذائية الصغرى

١. تعتبر عناصر غذائية أساسية لنمو واكتمال دورة حياة النبات
٢. تزيد من مقاومة النبات للأمراض
٣. تدخل في تركيب الأنزيمات التي تساهم في العمليات الفسيولوجية في النبات
٤. لها دور مهم وفعال في عمليات الأكسدة والاختزال في التفاعلات الحيوية في النبات وخاصة العمليات الأمينية
٥. تدخل في عملية تكوين الكلوروفيل

نقص العناصر الصغرى

أحيانا ما يظهر بشكل واضح على النبات بل يمكن التعرف على ذلك من خلال مؤشرات أو ملاحظات تظهر على النباتات كأن يكون النبات بطئ النمو وقليل الإنتاج مع ردائه في النوعية وأحيانا يكون النقص واضح كاختفاء اللون وموت بعض أجزاء النبات أو موت النبات بالكامل وأحيانا يحدث نقص في بعض العناصر الغذائية وتظهر أعراضه على النبات بالرغم من وفرة هذه العناصر في التربة حيث تكون بحالة غير جاهزة في النبات وهذا يحدث في التربة الطينية أو التربة الثقيلة والتي تحتوي على نسبة عالية من كربونات الكالسيوم، أما في حالة التربة الرملية والتربة الخفيفة فان هذه العناصر تفقد بسهولة عن طريق الغسيل أو الزيادة في كمية مياه الري أو الزيادة في عدد مرات الري وبالتالي يكون نقصها اكبر في التربة الرملية. النباتات تحتاج إلى ١٥ عنصراً أساسياً لنموها وتغذيتها، بعض منها يحتاجها النبات بكميات كبيرة وبعضها يحتاجها النبات بكميات أقل، للعناصر تأثير مباشر في النمو والفعاليات الحيوية للنبات (الكبرى والصغرى). من العناصر الصغرى المهمة للنبات ٦ عناصر، وهي:

الحديد Iron Fe

استهلال

- سورة من سور القران الكريم تحمل اسم الحديد، قال تعالى (..... **وَأَنزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعُ لِلنَّاسِ**.....) الحديد: ٢٥
- عرفت أهمية الحديد للكائنات الحية في القرن السابع عشر الميلادي
- محتوى التربة منه ٥٪ وهو العنصر الرابع في نسبته بالقشرة الأرضية، بعد الأوكسيجين والسيليكون والألومنيوم.
- وهو من العناصر الوفيرة في التربة، حيث يوجد في جميع الترب لكن بنسب مختلفة تتراوح كميته بين ٠.٠٢ – ١٠٪
- تزداد كمية الحديد في الطبقات السفلى من التربة وتزداد في الترب الطينية
- من أنواع الحديد في التربة الحديدوز Fe^{++} والحديديك Fe^{+3} والهيدروكسيل $FeOH^{2+}$ و $Fe(OH)_2^{+}$ و $Fe(OH)_3$ و $Fe(OH)_4$، والنبات يمتص الحديد في صورتي Fe^{++} و Fe^{+3}
- تقدر كمية الحديد في الإنسان البالغ وزنه (٧٠ كغم) قرابة ٤–٥ غرام
- يطرح الإنسان في الأحوال الاعتيادية يوميا ٦–١٦ ملغرام حديد عن طريق الإدرار والغائط
- يحتاج الأطفال فوق ١٢ سنة ١٥ ملغرام يوميا

الحديد تاريخياً

كشف علماء الجيولوجيا أن ٣٥٪ من مكونات التربة من الحديد، الحديد أكثر المعادن ثباتاً وذو كثافه عالية، وبذلك يحفظ توازن التربة. يتمييز الحديد بأعلى الخصائص المغناطيسية وذلك للمحافظة على جاذبية التربة. أصل الحديد من مخلفات الشهب والنيازك التي تتساقط من الفضاء الخارجي على كوكب الأرض، حيث تتساقط آلاف النيازك التي قد يزن البعض منها عشرات الأطنان وقد تم اكتشاف بعضها في أستراليا وأميركا. لا تتكون ذرة واحدة من معدن الحديد إلا بطاقة هائلة تفوق مجموع الطاقة الشمسية. وقد كشف علماء الفضاء مؤخراً أن عنصر الحديد لا يمكن له أن يتكون داخل المجموعة الشمسية، فالشمس نجم ذو حرارة وطاقة غير كافية لدمج عنصر الحديد، وهذا ما دفع بالعلماء إلى القول بأن معدن الحديد قد تم دمجه خارج مجموعتنا الشمسية، ثم نزل إلى الأرض عن طريق النيازك والشهب. ويعتقد علماء الفلك حالياً أن النيازك والشهب ما هي إلا مقذوفات فلكية من ذرات مختلفة الأحجام، وتتألف من

معدن الحديد وغيره، ولذلك كان معدن الحديد من أول المعادن التي عرفها الإنسان على وجه الأرض، لأنه يتساقط بصورة نقية من السماء على شكل نيازك، لقد وجد علماء الكيمياء أن معدن الحديد هو أكثر المعادن ثباتاً ولم يتوصل العلم إلى الآن من اكتشاف معدن له خواص الحديد في بأسه وقوته ومرونته وشدة تحمله للضغط. وهو أيضا أكثر المعادن كثافة وهذا يفيد التربة في حفظ توازنها. كما يعتبر معدن الحديد أكثر العناصر مغناطيسية وذلك لحفظ جاذبيتها.

الحديد لغوياً

ح د: الحد الحاجز بين الشيئين وحد الشيء منتهاه وقد حد الدار من باب رد وحددها أيضا تحديداً والحد المنع ومنه قيل للبواب حداد وللسجان أيضا أما لأنه يمنع عن الخروج أو لأنه يعالج الحديد من القيود و المحدود الممنوع من البخت وغيره وحده أقام عليه الحد من باب رد أيضا وإنما سمي حدا لأنه يمنع من المعاودة وأحدت المرأة امتنعت عن الزينة والخضاب بعد وفاة زوجها فهي محد وكذا حدت تحد بضم الحاء وكسرها حداداً بالكسر فهي حاد والحديد معروف سمي به لأنه منيع وحد كل شيء نهايته وحد الرجل بأسه وحد السيف يحد بالكسر حدة أي صار حادا وحديداً وسيوف حداد وألسنة حداد بالكسر فيهما والحداد أيضا ثياب المأتم السود والحدة ما يعتري الإنسان من النزق والغضب تقول حددت على الرجل أحد بالكسر حدةً وحدا أيضا وتحديد الشفرة و إحدادها و استحدادها بمعنى واحد النظر إليه و احتد من الغضب فهو محتد.

الحديد في التربة

يكون الحديد ما يقرب ٥٪ بالصيغة الوزنية من وزن قشرة الأرض، ويوجد بصورة ثابتة غير متغيرة في كل الترب، الجزء الأكبر من حديد التربة يوجد في الصفائح البلورية لمختلف المعادن. والمعادن الأولية التي يوجد فيها الحديد تضم سيلكات المغنيسيا الحديدية (Ferromgnesiat Silicate) مثل الاولفين (Olivine) والاوجيت (Augite) والهورنبليند والبيوتيت (Blotite). في البيوتيت والآليت موقعFe في مركز الطبقة ثمانية الأوجه وربما يكون ثنائي أو ثلاثي التكافؤ، عند تجوية هذه المعادن أكاسيد الحديد مثل Goethite, Haematite, Ferrihydrate تتكون. أن ذوبانية أكاسيد الحديد الثلاثي هي واطئة جداً. إن Goethite (α FeOOH) هو المعدن الحديدي الأكثر انتشاراً في الترب، أكاسيد الحديد الأخرى يؤثر بدرجة كبيرة في لون التربة الذي يكون بين البني المصفر والبني. الهيمتيت (α-Fe_2O_3) هو أيضا من أكاسيد الحديد واسعة الانتشار في الترب ولاسيما في الترب جيدة

معدن الحديد وغيره، ولذلك كان معدن الحديد من أول المعادن التي عرفها الإنسان على وجه الأرض، لأنه يتساقط بصورة نقية من السماء على شكل نيازك، لقد وجد علماء الكيمياء أن معدن الحديد هو أكثر المعادن ثباتاً ولم يتوصل العلم إلى الآن من اكتشاف معدن له خواص الحديد في بأسه وقوته ومرونته وشدة تحمله للضغط. وهو أيضا أكثر المعادن كثافة وهذا يفيد التربة في حفظ توازنها. كما يعتبر معدن الحديد أكثر العناصر مغناطيسية وذلك لحفظ جاذبيتها.

الحديد لغوياً

ح د: الحد الحاجز بين الشيئين وحد الشيء منتهاه وقد حد الدار من باب رد وحددها أيضا تحديداً والحد المنع ومنه قيل للبواب حداد وللسجان أيضا أما لأنه يمنع عن الخروج أو لأنه يعالج الحديد من القيود و المحدود الممنوع من البخت وغيره وحده أقام عليه الحد من باب رد أيضا وإنما سمي حدا لأنه يمنع من المعاودة وأحدت المرأة امتنعت عن الزينة والخضاب بعد وفاة زوجها فهي محد وكذا حدت تحد بضم الحاء وكسرها حداداً بالكسر فهي حاد والحديد معروف سمي به لأنه منيع وحد كل شيء نهايته وحد الرجل بأسه وحد السيف يحد بالكسر حدة أي صار حادا وحديداً وسيوف حداد وألسنة حداد بالكسر فيهما والحداد أيضا ثياب المأتم السود والحدة ما يعتري الإنسان من النزق والغضب تقول حددت على الرجل أحد بالكسر حدةً وحدا أيضا وتحديد الشفرة و إحدادها و استحدادها بمعنى واحد النظر إليه و احتد من الغضب فهو محتد.

الحديد في التربة

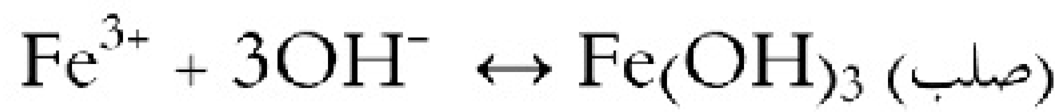
يكون الحديد ما يقرب ٥٪ بالصيغة الوزنية من وزن قشرة الأرض، ويوجد بصورة ثابتة غير متغيرة في كل الترب، الجزء الأكبر من حديد التربة يوجد في الصفائح البلورية لمختلف المعادن. والمعادن الأولية التي يوجد فيها الحديد تضم سيلكات المغنيسيا الحديدية (Ferromgnesiat Silicate) مثل الاولفين (Olivine) والاوجيت (Augite) والهورنبليند والبيوتيت (Blotite). في البيوتيت والآليت موقعFe في مركز الطبقة ثمانية الأوجه وربما يكون ثنائي أو ثلاثي التكافؤ، عند تجوية هذه المعادن أكاسيد الحديد مثل Goethite, Haematite, Ferrihydrate تتكون. أن ذوبانية أكاسيد الحديد الثلاثي هي واطئة جداً. إن Goethite (α FeOOH) هو المعدن الحديدي الأكثر انتشاراً في الترب، أكاسيد الحديد الأخرى يؤثر بدرجة كبيرة في لون التربة الذي يكون بين البني المصفر والبني. الهيمتيت (α-Fe_2O_3) هو أيضا من أكاسيد الحديد واسعة الانتشار في الترب ولاسيما في الترب جيدة

الصرف الاستوائية، وفي ترب Oxisols والـ Ultisols هذا المعدن يمثل جزءاً معنوياً من أجزاء الطين.

إن Ferrihydrate ($HFe_5O_8.4H_2O$) له سطح ذات درجة تخفض عالية ولهذا السبب قد يكون ذات أهمية بوصفه مصدراً للحديد للنباتات. وكسلسلة متعاقبة للثبوتية العالية فإن أكاسيد الحديد تتجمع أثناء التجوية المؤكسدة بصورة أكاسيد مائية (Hydrous Oxides) في جزء الطين. لذا ففي الترب التي فيها التجوية المؤكسدة في مرحلة متقدمة كما هو الحال في الأتربة الحمراء المسامية (Lateritic)، هذه الأكاسيد سوية مع أكاسيد الألمنيوم ومعدن الكاؤلونيت تكون هي السائدة في مقد التربة. إن درجة ذوبان أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد تتناقص بالتدرج الآتي:

Fe(OH)3 Amorphous > Fe(OH)3 in soils > Ψ- Fe_2O_3 Maghaemite > Ψ- FeOOH Lepidocrocite > A – Fe_2O_3 Haematite > A – FeOOlt Goethite.

إن محتوى التربة من الحديد الذائب يكون قليلاً مقارنة بالحديد الكلي الموجود فيها. أشكال الحديد غير العضوي الذائب تضم Fe^{3+}, $Fe(OH)^{2+}$ و $FeOH^{2+}$ و Fe^{2+}. في الأتربة الجيدة التهوية الـ Fe^{2+} يجهز كمية قليلة من الحديد إلى الحديد الكلي غير العضوي الذائب ماعدا تحت الظروف التي يكون فيها الرقم الهيدروجيني للتربة عالياً. إن ذوبان الحديد يسيطر عليه بصورة كبيرة من قبل ذوبان أكاسيد الحديد (الثلاثي) المائية، وهذه بدورها تزيد من الـ Fe^{3+} وأنواعه المتحللة مائياً



$$Fe^{3+} + 3OH^- \leftrightarrow Fe(OH)_3 \text{ (صلب)}$$

والتوزان في هذه المعادلة يكون في صالح ترسيب $Fe(OH)_3$ التي هي عملية معتمدة على الـ pH، ونشاط Fe^{3+} ينخفض بزيادة الـ pH. في درجة التفاعل العالية نشاط Fe^{3+} في المحلول تقل ١٠٠٠ مرة لكل درجة ترتفع فيها الـ pH. في درجة التفاعل العالية هذه (٧-٩) يتكون كل من $Fe(OH)_2^+$، $Fe(OH)_3$ و $Fe(OH)_4^-$. ومستوى الذوبانية يصل إلى الحد الأدنى في درجة pH، ٧,٤ إلى ٨,٥ ولذا فالأتربة الحامضية تكون عالية في محتواها من الحديد غير العضوي الذائب من الترب الكلسية التي يكون فيها مستوى الحديد غير العضوي الذائب قليلاً.

الحديد الكلي

يختلف الحديد عن باقي العناصر الصغرى من حيث كميته بالتربة، حيث يوجد بكمية كبيرة في معظم أنواع الأراضي لدخوله في التركيب الكيميائي لكثير من المعادن المكونة للقشرة الأرضية. ومن الطبيعي أن تختلف كمية من أرض إلى أخرى حسب محتوى تلك الأراضي على المعادن الحاملة لهذا العنصر،

وكمتوسط عام للأراضي المختلفة يكون الحديد موجود بنسبة ٥% على أساس الوزن. وفي الأراضي الغنية بالحديد Ferroginous soils يتواجد الحديد بها بنسبة تفوق ١٠%. وفي الأراضي الرملية تكون الكمية الكلية قليلة حيث تصل النسبة إلى حوالى ١%، وتنخفض النسبة عن ١% في الترب الرملية التي تتعرض للغسيل بواسطة مياه الأمطار. وليس معنى وجود الحديد الكلى بكمية كبيرة في تربة ما بأن النباتات النامية بتلك التربة قد لا تعانى من نقص الحديد لأن ذلك يتوقف على الكمية الميسرة من هذا العنصر للنبات.

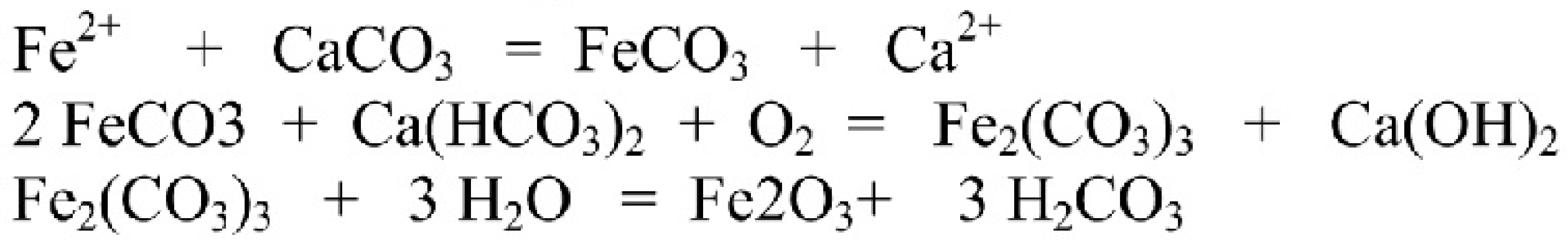
الحديد الجاهز تعتبر كمية الحديد الجاهزة بالتربة الزراعية قليلة جداً بالمقارنة بكمية الحديد الكلية بنفس التربة. ويوجد الحديد الجاهز (الذائب) في المحلول التربة أما على هيئة صورة معدنية مثل Fe^{+2}, Fe^{+3}, $FeOH^{+2}$, $Fe(OH)_2^{+}$ أو على صورة عضوية ذائبة مثل Fe-Organic Complexes معقدات الحديد العضوية. ويتوقف ظهور أعراض نقص للحديد على النباتات على الكمية الجاهزة والتي تتحكم فيها عدة عوامل يمكن إيجازها فيما يلى :

١. رقم الـ pH : تعتمد درجة ذوبان الحديد بدرجة كبيرة على pH الوسط، لدرجة أنه يحدث انخفاض في تركيز الحديد الذائب قدره ١٠٠٠ ضعف مع كل زيادة في الـ pH قدرها وحدة واحدة. وبالتالي يكون من الواضح أن جاهزية الحديد للنبات تقل بدرجة عنيفة مع ارتفاع رقم الـ pH. وعلى ذلك يكون نقص الحديد الجاهز في الترب الجيرية في الغالب نتيجة ارتفاع رقم الـ pH لها حيث يصبح أيون الحديديك هو السائد. ويمكن التقليل من شدة هذا النقص بخفض الـ pH بإضافة المركبات ذات التأثير الحامضي مثل الكبريت المعدني لمثل هذه الترب. وعلى ذلك يمكن زيادة صلاحية الحديد للنبات في الترب القاعدية بإضافة المواد العضوية لتلك الترب، وعكس ذلك في الترب شديدة الحموضة يمكن أن يتواجد أيون الحديدوز بتركيز مرتفع قد يصل إلى حد السمية للنباتات النامية في تلك الترب.

٢. المادة العضوية: يزداد الحديد الجاهز للنبات بوجود المادة العضوية حيث يوجد في صورة مركبات مخلبية ذائبة في محلول التربة حتى ولو كان pH التربة مرتفعاً. وعلى ذلك يمكن القول بان الترب الفقيرة في محتواها من المادة العضوية قد تعانى من نقص الحديد الصالح للنبات.

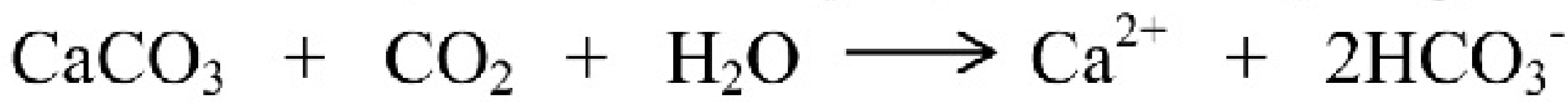
٣. قوام التربة: الترب خشنة القوام كما هو في حالة الترب الرملية والتي تحتوى أصلاً على كمية قليلة من الحديد الكلى، نتوقع أن تكون كمية الحديد الجاهزة بها قليلة، وبالتالي تعانى النباتات النامية بها من نقص في الحديد.

٤. تأثير كربونات الكالسيوم: بجانب تأثير كربونات الكالسيوم على رفع رقم الـ pH والذى يؤثر سلبياً على تيسر الحديد الصالح للنبات في مثل هذه الترب ، تلعب كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم دوراً مهماً ومباشراً في درجة ذوبان الحديد، حيث تؤدى زيادة كمية الكربونات إلى تحويل أيون الحديدوز الذائب إلى صورة غير ذائبة كأكسيد الحديديك أو هيدروكسيد الحديديك ويتضح ذلك من المعادلات الآتية:



$$Fe^{2+} + CaCO_3 = FeCO_3 + Ca^{2+}$$
$$2\ FeCO3 + Ca(HCO_3)_2 + O_2 = Fe_2(CO_3)_3 + Ca(OH)_2$$
$$Fe_2(CO_3)_3 + 3\ H_2O = Fe2O_3 + 3\ H_2CO_3$$

وعلى ذلك فوجود الكربونات بالتربة يشجع على نقص الحديد الجاهز للنبات وبالتالي ظهور الاصفرار على النباتات النامي بها. وهناك تفسير آخر لظهور الاصفرار على النباتات النامية في الترب الجيرية وهو أن السبب يرجع إلى عرقلة أيون البيكربونات HCO_3^- لامتصاص أيون الحديد وانتقاله داخل النبات. ويعتبر أيون البيكربونات ناتج طبيعي من عملية التحلل المائي لكربونات الكالسيوم كما في المعادلة التالية:



$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$$

إن تأثير أيون البيكربونات على امتصاص الحديد بواسطة النبات، وامتصاص هذا الأيون يؤدى إلى رفع pH خلايا الجذور (في الفراغات الحرة Free Space) وأنسجة الأوراق وهذا يؤدى إلى ترسيب الحديد داخل النبات (الجذور)، وبالتالي تقل حركته مما يؤدى إلى ظهور الاصفرار على النموات الحديثة. وهنا يجب الإشارة إلى أن الاصفرار ليس ناتجاً من نقص الحديد الجاهز بالتربة، بل نتيجة تأثير الكربونات وهو ما يعرف Lime Induced Iron Chlorosis، ويمكن التقليل من ظاهرة الاصفرار الناتج عن نقص الحديد في الترب الجيرية بمراعاة ما يلى:

- عدم زيادة رطوبة التربة أكثر من اللازم تجنباً لحدوث عملية التحلل المائي للكربونات.
- يمكن الإقلال من تأثير أيون OH^- الناتج من التحلل المائي للكربونات بزيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون CO_2 في هواء التربة.
- يمكن إضافة بعض المركبات ذات التأثير الحامضي إلى مثل هذه الترب مثل الكبريت المعدني.

٥. محتوى التربة من الرطوبة: مع ارتفاع رطوبة التربة الزراعية تقل بها التهوية، وبالتالي يتأثر نمو النبات حيث يصبح ضعيف ويكون أكثر قابلية للتعرض لنقص الحديد وخاصة في الترب الجيرية. ويشذ عن ذلك الترب المزروعة بالرز والمغمورة بالماء باستمرار حيث يحدث اختزال للحديديك ويصبح في صورة حديدوز ذائبة وصالحة للنبات وبالتالي لا تعانى معظم نباتات الرز من نقص الحديد، وعلى ذلك في الترب الجيرية

يجب الحذر من ارتفاع المحتوى الرطوبي بها وذلك بتجنب الري الذائد حيث لوحظ ظهور الاصفرار على النباتات النامية تحت هذه الظروف نتيجة حدوث التحلل المائي لكربونات الكالسيوم.

٦. تأثير التضاد بين الأيونات Antagonistic ions: من الأسباب التي تؤدى إلى ظهور الاصفرار الناتج عن نقص الحديد على النباتات هو وجود أو إضافة أسمدة عناصر معينة، حيث وجد أن زيادة الفوسفور الذائب في التربة يقلل من امتصاص الحديد (كما هو في حالة تأثير الفوسفور على الخارصين) ويعتقد بأن الفوسفات تساعد على ترسيب الحديد في وسط النمو وتجعله في صورة غير صالحة للامتصاص بواسطة النبات، وهناك رأى آخر يقول بان تأثير زيادة الفوسفات على ظهور الاصفرار الناتج عن نقص الحديد يرجع إلى زيادة نسبة الفوسفور إلى الحديد P / Fe داخل النبات. أيضا نفس التأثير وجد مع زيادة Zn , Mo , Mn , Cu في وسط النمو حيث يحدث تداخل أو تضاد مع امتصاص الحديد بواسطة النبات، وبالتالي يمكن أن تظهر أعراض نقص الحديد تحت هذه الظروف. إن زيادة مستوى التسميد النيتروجيني وخاصة إذا كان في صورة نترات يؤدى إلى ظهور أعراض نقص الحديد، ويرتبط التداخل بين الحديد والنيتروجين بعدة آراء غالبيتها تؤكد أن إضافة الحديد مع التسميد النيتروجيني يزيد الإنتاج إذا أضيف النيتروجين في صورة الأمونيوم NH_4^+ وذلك للتأثير الحامضي لهذا السماد والعكس مع إضافته في صورة نترات NO_3^- ذات التأثير القاعدي. وأن زيادة التسميد النيتروجيني بصفة عامة يزيد النمو الخضري وبالتالي المادة الجافة مما يسبب تخفيف تركيز الحديد في النبات.

٧. درجة الحرارة: بجانب العوامل السابق ذكرها على الجاهزية الحديد في التربة، وجد أن درجة الحرارة تلعب دوراً أيضا، حيث وجد أنه مع انخفاض درجة الحرارة ينخفض معدل نمو النبات، وأيضا يقل معدل معدنة المادة العضوية والتي تساهم بجزء أساسي من الحديد الجاهز نتيجة لقلة نشاط الكائنات الدقيقة تحت هذه الظروف وبالتالي يمكن ظهور الاصفرار الناتج من نقص الحديد الجاهز.

مصادر الحديد في التربة

١. الأكاسيد مثل معدن Hematite Fe_2O_3

٢. الكبريتيدات مثل معدن Pyrite FeS_2

٣. الكربونات مثل معدن Siderite $FeCO_3$

٤. الكبريتات مثل معدن Jarosite $KFe_{3}.6(SO_4)_4$

٥. السيليكات مثل معدن الأولفينOlivene

الحديد في فسلجه النبات

الأن اصبح مقبولاً بوصف عام هو أن انتقال Fe عبر (البلازما لما) مرتبط بصورة وثيقة باختزال Fe^{+3}. إن Fe^{2+} الذي يمتص والذي يمر عبر قناة خاصة في غشاء البلازما Siderophores التي تنتج في التربة تنتقل إلى الجذور بالانتشار أو الجريان الكتلي وتدخل الفراغ الحر للجذر والتي من خلاله تتحرك إلى Fe^{+3} Reductase المرتبط بغشاء البلازما لما. حال ما يستقبل الأنزيم Reductase الإلكترونات (E^{-}) من Fe العائد لـ Siderophores فان تركيب الـ Siderophores ينكسر ويتحرر Fe^{2+} الذي بدوره بعد ذلك قد يمر عبر القناة الخاصة لغشاء البلازما لما ليدخل إلى السايتوسول. إن مكافئات الاختزال المطلوبة للعملية تجهز بوساطة NAD(P)H في السايتوسول. هذا النوع من امتصاص Fe يحصل في معظم أنواع النباتات. إن الحامض Migineic ومشتقاته Distichonic Acid, 3-Hydroxymugineic Acid,Avenic Acid هي أحماض أمينية غير بروتينية وذات تركيب مميز، ولها ست مجاميع عاملة التي بوساطتها تقوم بربط Fe^{+3} بصورة Hexadentate بثلاث مجاميع من الكاربوكسيل، ذرتان من N و OH واحدة إن Nicotianamine له ذرة N واحدة فقط ولهذا السبب يفترض بأنه يربط Fe^{2+} وليس Fe^{3+} بوصف عام إن تحرر Mugineic acid يحصل أثناء النهار والتحرر الأعلى عند الصباح. أن الـ Phytosiderophores تفرز من نهايات الجذور عدة ملمترات خلف القمة (apex). فرز الـ Siderophores يظهر بأنه يحصل كاستجابة لنقص الحديد. ولكن ميكانيكية التنظيم للتكوين والفرز من حيث علاقة ذلك بالطلب على Fe هي لازالت غير مفهومة إلى وقتنا هذا. أنواع النباتات والأصناف ذات المقدرة العالية على فرز Mugineic Acids تكون قادرة على العيش مع الجاهزية الواطئة للحديد في الترب الكلسية. جهد النباتات النجيلية المختلفة من ذوات الفلقة الواحدة لفرز Phytosiderophores لهذا تحسن من امتصاص الحديد وفق التدرج الآتي:

الشعير = الحنطة > الشوفان = الجاودار (rye) > الذرة الصفراء = الذرة البيضاء > الرز

لقد افترض بان جزيئة Fe- phytosiderophore تمتص بوساطة ناقل متخصص يتواجد في البلازما لما. وبشكل مغاير لامتصاص Fe بوساطة ذوات الفلقتين يكون امتصاص Fe على شكل Phytosiderophoreبوساطة النباتات النجيلية ذوات الفلقة الواحدة يعتمد بدرجة كبيرة على درجة تفاعل التربة التي تكون ذات إيجابية خاصة في الترب الكلسية. إن الـ Phytosiderophore تتحلل

00:12:59

بسرعة بوساطة ميكروبات التربة، وان الـSiderophore المنتجة بوساطة بكتريا التربة والفطريات أيضا تساهم في تجهيز الحديد للحشائش. بالرغم من الكفاءة العالية للأنواع النجيلية ولاسيما الحنطة لامتصاص Fe من التربة، إن حصول اصفرار الحديد في مختلف أصناف الحنطة النامية في الترب الكلسية. اختلافات كبيرة في درجة اصفرار الحديد بين الأصناف قد وجدت، مع بعض الأصناف لم تظهر الاصفرار، هذه النتائج تقترح وجود اختلافات بين الأصناف في استجابتها للـ Phytosiderophore لامتصاص الحديد. Acquisition اختزال Fe^{+3} يحتاج إلى درجة تفاعل تقرب من ٥,٠ عند جهة الـ Apoplast للـ Reductase. بالرغم من أن Apoplast منظم من حيث H^{+} بصورة جيدة عند pH ٥.٠ فإن درجة التفاعل العالية في Apoplast قد يحصل في الترب الكلسية التي قد تعرقل اختزال Fe^{+3} وكذلك امتصاص Fe^{+2}. إن تأثير درجة تفاعل المحلول المغذي في تركيز الكلوروفيل في الأوراق وتراكيز Fe في الجذور والأوراق لنباتات زهرة الشمس. لتحريك كمية ملائمة من حديد التربة لتنتقل بوساطة الانتشار أو الجريان الكتلي إلى الجذور. الحديد الذي يتجمع في Apoplast الجذور يكون مرتبطاً بقوة ولكن يتحرر بعملية الاختزال، طبيعة هذا الارتباط القوي لـ Fe^{+3} بـ Apoplast الجذور غير مفهومة إلى وقتنا هذا. النباتات تستجيب لغياب جاهزية الحديد باستخدام مختلف الاستراتيجيات. أنواع النبات القادرة على انتاج Siderophores مثل الحشائش تستجيب لنقص الحديد من خلال الزيادة القوية في تحرير الـ Siderophores التي تؤدي إلى تحفيز حركة حديد التربة. ذوات الفلقتين غير قادرة على تكوين Siderophore بل تفرز H^{+} إلى المحلول الخارجي الذي يحدث تحللا لمركبات الحديد غير الذائبة. البروتونات التي تتحرر من الجذور إلى الترب الكلسية يتم معادلتها مباشرة بوساطة قوة التنظيم العالية للهيدروجين لمثل هذه الترب وانه لا يوجد أية إمكانية لإذابة مركبات Fe^{+3} في التربة. ومع ذلك فالهيدروجين الذي يضخ إلى Apoplast الجذور بوساطة مضخة الهيدروجين الموجودة في غشاء البلازما لما قد – بصورة جيدة– تخفض من درجة التفاعل للجهات المجهرية للـ Apoplast إذ إن اختزال Fe يستمر. بأن كلتا ذوات الفلقتين والحشائش قد طورت خلايا نقل في الرايزوديرم (Rhizodermal Transfer Cells) التي تتصف بانغماس خلايا الجدر وبتوسع غشاء البلازما لزيادة عدد مضخات الهيدروجين في البلازما لما لضخ H^{+} إلى داخل الـ Apoplast وبهذا تتحسن عملية اختزال Fe. فضلاً عن ذلك الأغشية من النباتات التي تعاني من النقص تظهر قوة اختزال عالية

للحديد اكثر مما هو عليه في النباتات المجهزة بصورة جيدة بالحديد من هذه الملاحظات نستنتج بأن سعة اختزال Fe^{+3} قد أيضا تستجيب للتجهيز غير الملائم من الحديد.

الوظائف الحيوية للحديد في النبات

١. يدخل في تركيب السايتكرومات النباتية المسؤولة عن نقل الإلكترونات

٢. يدخل في النظام الإنزيمية للهيم Hemes والهيمن Hematin وإنزيم Nitrate reductase وفي تركيب الـ Catalase والـ Peroxidase، الأنزيم الأول يكون كمفتاح في الكلورويلاست بالتعاون مع أنزيم Superoxidase dismutase في عمليتي التنفس والـ Glycolytic أما بالنسبة لإنزيم الـ Peroxidase والذي يكون بأنواع مختلفة فتوجد بعضها مرتبطا في جدران الخلايا وتحفز عملية البلمرة (Polymerization) للفينولات إلى لكنين

٣. يشارك في عمليات الأكسدة والاختزال لعمليتي التنفس والبناء الضوئي

٤. يدخل في تركيب الكلوروبلاست والبلاستيدات الخضراء، حيث أكثر من ٧٥٪ من الحديد الكلي للخلايا يوجد في الكلوروبلاست وان ٩٠٪ من حديد الأوراق يوجد في البروتينات الدهنية (Lipoprotein) للأغشية الخلوية للكلورويلاست والمايتوكوندريا

٥. يشارك في تكوين البروتينات النباتية، للحديد دور مهم في بناء البروتين حيث يتطلب في الاستنساخ والترجمة للأحماض النووية وان نقصه يؤدي إلى خفض كمية البروتين الكلي ولكن بروتينات الأغشية تنخفض بدرجة أكثر من البروتينات الذائبة

٦. يلعب دور وسيط وأساسي في تكوين الكلوروفيل ولا يدخل في تركيبه.

٧. يدخل في تركيب السيتوكريوم، لذا فهو يلعب دوراً أساسياً في التنفس.

٨. يلعب دوراً أساسياً في تحويل النتروجين الذائب في الأوراق إلى بروتين يلعب دوراً كبيراً في حماية اليخضور من أشعة الشمس الشديدة.

احتاج النبات لعنصر الحديد

١. التربة تحتوي ٢٠٠٠٠ جزء بالمليون حديد كلي، لكن احتياج النبات ٠.٥ جزء بالمليون

٢. تختلف النباتات من حيث الجنس والنوع والعمر في احتياجها للحديد

٣. تسبب الجرعات الكبيرة من الحديد تسمم في النبات

٤. الحمضيات والفاكهة والأعناب والخضر نباتات حساسة لنقص الحديد، والفول متوسطة الحساسية، والبطاطا مقاومة للنقص

٥. في حالة زيادة كمية الحديد في النبات تظهر نقاط سوداء على الأوراق

٦. الترب الرملية والقاعدية والكلسية تعاني من نقص الحديد

أعراض نقص الحديد في النبات

١. الحديد عنصر غير متحرك في التربة وفي أجزاء النبات، لذا تظهر الأعراض في الأجزاء الحديثة

٢. في الحالات الشديدة فان الأوراق عند النقص تصبح بيضاء اللون وصغيرة الحجم هشة وسريعة الانكسار ورقيقة ويمكن أن تسقط مبكراً ويحدث الموت التراجعي (Die Back) بشدة في الجهة الخارجية للأشجار خاصة في القمة وتموت قمم الأشجار وتبقى أغصانها السفلى تحمل على الأغلب نمواً خضرياً اعتيادياً وفي النهاية ينخفض حجم المجموع الخضري للأشجار وعقد الثمار والحاصل، الثمار تكون صغيرة الحجم، ذات محتوى منخفض من المواد الصلبة الذائبة، وفي الحالات الشديدة النقص فان أجزاء الشجرة كافة تتأثر وتفقد جزءاً كبيراً من أوراقها وتصبح غير منتجة ثم تموت لاحقاً تبدأ الأعراض بظهور اصفرار ما بين العروق الدقيقة للورقة مع تحول لون الورقة إلى الأبيض.



٣. أعراض نقص الحديد تعرف بالاصفرار الحديدي (Iron Chlorosis) وأيضا يمكن أن يسمى Lime – Iduced Chlorosis عندما يحدث بالترب الكلسية

الاصفرار (Chlorosis) ظهور مرض الاصفرار في أوراق عنب الصنف حليلي كان نتيجة لزيادة الكالسيوم في التربة والذي يقلل من جاهزية الحديد. أو عندما يكون pH التربة مائل للقاعدية كما في معظم ترب الوطن العربي مما يدل على أن معظم العناصر الضرورية الصغرى كالحديد والمنغنيز والخارصين والنحاس غير جاهزة للامتصاص من قبل النبات ومن ثم يتطلب توفرها عن طريق الرش على الأوراق بدلاً من إضافتها للتربة. أو عندما تكون الطبقة السطحية للتربة جافة خاصة في المناطق شبه الجافة وكذلك تحت ظروف الترب الملحية. وعندما يكون امتصاص الغذاء خلال الجذور مقيداً نتيجة ظروف تعترض النمو. فالتغذية الورقية تحت هذه الظروف تكون مفيدة جداً. والفائدة الأساسية للتسميد الورقي هي السماح بالامتصاص والاستفادة السريعة من العناصر الغذائية المستعملة وإزالة الأعراض المرئية على الأوراق

بسبب نقص معين في واحد أو أكثر من العناصر الغذائية وملاحظة الزيادة الحاصلة في النمو والحاصل.

ونسبة الامتصاص عن طريق الأوراق تعتمد على الحالة الغذائية للنبات، فالنبات الذي يعاني من نقص في احد العناصر الغذائية يمتص بسرعة أكبر العنصر المفقود بالتربة والذي استعمل عن طريق الرش الورقي من النبات الذي نما في وسط غني بهذا العنصر وان استعمال المواد الناشرة أو ما تسمى بالعوامل المبللة Weting Agent أو Surfactant مثل الغليسيرين، Organosilicone و Dimethyl Sulfoxyde وغيرها تزيد بشكل ملحوظ من معدل الامتصاص للعناصر الغذائية بوساطة الأوراق. كذلك فأن الرطوبة النسبية المرتفعة تشجع على اختراق مواد المحلول المغذي إذ تسبب بطء في سرعة التبخر للقطرات الرذاذة للمحلول فتساعد إطالة مدة الامتصاص ويفضل استعمال الرش الورقي في الصباح الباكر لاعتدال درجات الحرارة.

وأهم الأعراض المعروفة هي ظهور اصفرار على الأوراق الحديثة النمو بينما الأوراق المسنة تبدو طبيعية وهذا يدل على أن الحديد من العناصر الساكنة غير المتحركة في النبات. ويبدأ الاصفرار بظهور لون أخضر باهت ثم يتبعه ظهور اللون الأصفر وفي مناطق متداخلة على الورقة، مع بقاء العروق خضراء.

٢- في العديد من الحالات، ومع شدة النقص يتحول اللون الأصفر إلى اللون الأبيض مع انعكاس الشمس على الورقة وخاصة في النموات الحديثة

٣ - تحترق أطراف الأوراق وتصبح بنية اللون في حالات النقص الشديد، وقد تحترق كامل الورقة وخاصة في النموات الحديثة مع ضعف الإنتاج بشكل عام.

قد يحدث تشابه بين أعراض نقص الحديد والمغنيسيوم وذلك لتأثيرهما على تكوين جزيء الكلوروفيل في النبات إلا أن عنصر المغنيسيوم من العناصر المتحركة في داخل النبات وبالتالي تظهر الأعراض على الأوراق المسنة.

علاج نقص الحديد في النبات

تكثر أعراض نقص الحديد في الترب القلوية فيوجد في صورة غير صالحة للامتصاص ويعمل جود النحاس والمغنيسيوم علي خفض معدل امتصاص الحديد وذلك لحدوث ظاهرة التضاد.

يعالج بإضافة أسمدة المحتوية على الحديد إلى التربة وتختلف طرق إضافة هذه الأسمدة حسب نوع التربة ونوع السماد وأيضا حسب المحصول. حيث اتضح أن كفاءة استخدام الأسمدة المخلبية أعلى من الأسمدة المعدنية وخاصةً عند إضافتها للترب القاعدية أو الجيرية. ويرجع ذلك لأن قوة ارتباط الأيون بالمركب

المخلبى كبيرة وبالتالي يفقد الأيون قدرته على التفاعل مع المكونات الأخرى للتربة وعلى ذلك يبقى العنصر في صورة ذائبة في محلول التربة وجاهز للنبات حتى في الوسط القاعدي. وقد يفسر تأثير المركبات المخلبية في زيادة جاهزية الحديد للنبات على أساس أن جذور النبات تمتص العنصر الغذائي من المركب المخلبي عن طريق التبادل بالتماس بين الجذر والمركب المخلبي فينتقل الكاتيون إلى الجذر وينطلق بدلاً منه أيون الهيدروجين تاركاً الجزء العضوي في محلول التربة، وبفقد الكاتيون من المركب المخلبي يتهدم البناء الحلقي ثم يتحد المركب مرة أخرى مع كاتيونات محلول التربة ومنها أيون الحديد والذي تزداد جاهزيته نتيجة انخفاض الـ pH الناتج من انطلاق أيون الهيدروجين ويتكون المعقد المخلبي مرة أخرى.

أسمدة الحديد

١. كبريتات الحديدوز ٢٠% حديد

٢. كبريات الحديديك ٢٨% حديد

٣. الأسمدة المخلبية

٤. وطرق استخدام الأسمدة، هي الإضافة المباشرة إلى التربة، أو حقن النباتات عند تسميد الأشجار، أو برش الأوراق بأسمدة الحديد، أو عند طريق إضافة السماد عن طريق مياه الري (٤.٥ كغم. هكتار$^{-1}$) من مركبات الحديد.

هناك عدة مصادر لمركبات الحديد والتي تستخدم كأسمدة لمعالجة نقص الحديد الميسر بالتربة الزراعية يوضحها الجدول (٢٧). وتختلف طرق إضافة هذه الأسمدة حسب نوع التربة ونوع السماد وأيضا حسب المحصول. حيث اتضح أن كفاءة استخدام الأسمدة المخلبية أعلى من الأسمدة المعدنية وخاصة عند إضافتها للأراضي القاعدية أو الجيرية. ويرجع ذلك لأن قوة ارتباط الأيون بالمركب المخلبى كبيرة وبالتالي يفقد الأيون قدرته على التفاعل مع المكونات الأخرى للتربة وعلى ذلك يبقى العنصر في صورة ذائبة في المحلول الأرضي وميسرة للنبات حتى في الوسط القاعدي. وقد يفسر تأثير المركبات المخلبية في زيادة صلاحية الحديد للنبات على أساس أن جذور النبات تمتص الكاتيون الغذائي من المركب المخلبى عن طريق التبادل بالتماس بين الجذر والمركب المخلبى فينتقل الكاتيون إلى الجذر وينطلق بدلاً منه أيون الأيدروجين تاركاً الجزء العضوي في محلول التربة، وبفقد الكاتيون من المركب المخلبى يتهدم البناء الحلقى ثم يتحد المركب مرة أخرى مع كاتيونات المحلول الأرضي ومنها أيون الحديد والذى يزداد تيسره نتيجة انخفاض الـ pH الناتج من انطلاق أيون الهيدروجين ويتكون المعقد المخلبى مرة أخرى. وأوضحت الدراسات على سلوك المركبات

المخلبية Fe-DTPA، (ثنائي الإيثلين ثلاثي الأمين خماسي حمض الخليك)Fe-EDTA ،(الإيثلين ثنائي الأمين رباعي حمض الخليك) و Fe-EDDHA (إيثلين ثنائي الأمين ثنائي الفينول هيدروكسي حامض الخليك) بالأراضي الجيرية ودرجة صلاحيتها للنبات وجد أن أعلى كمية ممتصة من الحديد بواسطة النبات كانت باستخدام مركب Fe-EDDHA، وإن حوالى ٦٥% من الحديد تظل في صورة ذائبة بالمحلول الأرضي عند استخدام نفس المركب، إن مركب Fe -EDDHA يكون أكثر ثباتاً في الترب الجيرية عن باقي المركبات المخلبية الأخرى والتي يحل الكالسيوم محل الحديد الموجود بها مع ارتفاع رقم ال pH

الجدول ٢٧: الأسمدة الحاملة للحديد والمستخدمة في الزراعة ومعدل استخدامها

السماد ورمزه الكيميائي	النسبة المئوية للحديد	طريقة الإضافة
كبريتات الحديدوز $FeSO_4.7H_2O$	٢٠.٥	يفضل إضافتها رشاً بتركيز ٢%
كبريتات الحديديك $Fe_2(SO_4)_3.4H_2O$	٢٠.٠	تضاف بمعدل ٨٠-١٢٠ لتر
كبريتات الأمونيوم والحديدوز $(NH_4)_2SO_4,FeSO_4.6H_2O$	١٤.٠	
المركبات المخلبية Fe-DTPA	١٠.٠	تضاف رشاً وبمعدل ٠.٥ - ١كغم حديد مخلبي/ ٤٠٠ لتر
Fe-EDTA	١٢.٠-٩.٠	
Fe-EDDHA	٦.٠	
Fe-HEDTA	٩.٠-٥.٠	

إضافة الحديد

في معاملة الاصفرار الناتج عن نقصان الحديد كثيراً ما تكون إضافة أملاح الحديد المعدنية إلى التربة بدون تأثير إذ إنها بسرعة تتحول إلى اوكسيدات غير ذائبة، أما المعاملة بالرش لأملاح الحديدوز (Salts Ferrous) أو أسمدة الحديد المخلبية فهي أكثر تأثيراً. حالة أضافتها إلى التربة فإنه من المهم أن

يؤخذ بنظر الاعتبار ثبوتية هذه المواد وعلاقتها بالرقم الهيدروجيني للتربة. إذ إنه في حالة ارتفاع الرقم الهيدروجيني للتربة يكون تركيز الكالسيوم عالياً بحيث يستطيع أن يحل محل Fe^{3+} في المواد المغلفة ذات درجة ثبوتية واطئة مما ينتج عن ذلك مواد مغلفة للكالسيوم ويترسب أوكسيد الحديد وبهذا يكون الحديد غير جاهز للامتصاص.

الاختلاف في ثبوتية المواد المغلفة تعكس بتجاوب النبات لها. تم اختبار أنواعاً مختلفة من أسمدة الحديد المخلبية فوجد الأفضل في الاستجابة كان (Ethylene Diamine [Dio-Hydroxypheny] Acetic Acid) FeEDDHA وهي مادة ثابتة (Stable) أثناء رقم هيدروجيني للتربة يتراوح ما بين ٤-١٠، بينما كانت ثبوتية المادة FeEDTA, Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid قد فشلت عند درجة تفاعل أعلى من ٧ وبهذا فقد أعطت تأثيراً ضعيفاً. تم وضع حالات فيها خليط من أملاح الحديد والمادة العضوية مثل السماد البلدي والـ Compost (مزيج من روث الحيوانات وأوراق الشجر)، وفضلات المدينة (Sewage Sludage) والـ Peat (نسيج نباتي نصف متفحم يتكون بتحلل النبات تحللاً جزئياً)، وقد استعملت بنجاح في السيطرة على اصفرار الحديد في العديد من المحاصيل المختلفة. وجد أن زيادة تركيز الكلوروفيل لا شجار الثمار من خلال رش محلول حاوي على الحديد كان له تأثير إيجابي معنوي على حاصل الثمار مثل الكيوي والخوخ والأجاص. إعادة الاخضرار توصل إليها بإضافة أسمدة الحديد المخلبية ومحلول $FeSO_4$ لوحدها أو مع حامض الستريك أو حامض الكبريتيك بطريقة الرش.

الحديد والإنسان

- عرفت أهمية الحديد للكائنات الحية في القرن السابع عشر الميلادي
- سلفات الحديدوز هو الشكل الأكثر شيوعاً من الحديد في الإنسان
- متوافر من مصادر طبيعية وصناعية
- الكمية الغذائية الموصي بها: للرجال ١٠ ملغرام وللنساء ١٥ ملغرام وللراشدين ١٨ ملغرام يحتاج الأطفال فوق ١٢ سنة ١٥ ملغرام يوميا
- تقدر كمية الحديد في الإنسان البالغ وزنه (٧٠ كغم) قرابة ٤-٥ غرام (ضعف كمية الخارصين واكثر من ٢٠ مرة بقدر النحاس)
- يطرح الإنسان في الأحوال الاعتيادية يوميا ٦-١٦ ملغرام حديد عن طريق الإدرار والغائط

00:00:00

الحديد في جسم الإنسان، يكون

١. مترابط مع البروتين كبورفيرين

٢. ضمن مركبات الهيم، خصوصا الهيموغلوبين والمايوكلوبين

٣. مركبات مرتبطة بالبروتين مثل الترانسفرين والفيريتين

يعمل الترانسفرين ناقل للحديد بالدم، والهيموكلوبين ناقل للأوكسجين، وجود الحديد حرا في البلازما يتسبب عنه تسمم الدم بالحديد

العلاج بالحديد من قبل الإنسان

• إذا حمي مسحوق الحديد وأضيف إليه الماء وسقي منه المصاب بالإسهال المزمن أو المصاب بالتهاب المعدة وقرحة الأمعاء وورم الطحال والهيضة فهو علاج له

• زنجار الحديد يسمى (زعفران الحديد) ومسحوقه اذا ضمدت به المناطق المصابة بنزف الدم المزمن فإنه يقطعه. ويمنع الإصابة بالجرب والحكة اذا طلي به البدن. واذا خلط زنجار الحديد مع الخل، وقطر منه في الأذن المصابة بالتهاب فهو علاج له.

• مسحوق الحديد يقوي الأسنان ويشد اللثة حيث تدلك به، وإذا اخذ مسحوق الحديد وأضيف إليه الماء وطلي به جسم المصاب بمرض النقرس فانه يشفي. وإذا طلي بمسحوق الحديد رأس المصاب بمرض داء الثعلب فهو علاج له. وإذا خلط مسحوق الحديد مع الخل، وطلي به المنطقة المصابة بالبثور فإنه يزولها سريعا.

• برادة الحديد ذا علقت على انسنا يغط في نومه زال عنه ذلك، ومن اخذ شيئا من الحديد معه قوي قلبه، وزال عنه المخاوف والأفكار الرديئة ويبسط النفس ويطرد عنه الأحلام الرديئة ويزيد هيبته في أعين الناس.

توزيع الحديد في جسم الإنسان

الحديد في جسم الإنسان موزعة على الشكل الاتي:

١. حديد متنقل، كميته ٠.٠٠٥ إلى ٠.١٨ ملغرام/ ١٠٠مللتر في البلازما الدم، يسمى الترانسفرين

٢. الهيموكلوبين والمايوكلوبين، ٧٠% من الحديد في الجسم موجود في كريات الدم الحمراء الهيموكلوبين، و٥% في العضلات المايوكلوبين

٣. الحديد المخزون، ٢٠% مخزن مع البروتين في الكبد والطحال ونخاع العظام

٤. حديد خلايا الأنسجة، مرافق للأنزيمات خصوصا أنزيمات الأكسدة لا نتاج الطاقة



يتباين محتوى جسم الإنسان من الحديد، اعتمادا على العمر، الجنس، نوع الغذاء، الحالة الصحية

المصادر الطبيعية للحديد

الخبز وصفار البيض والسمك والحمص والعدس والمحار واللحم الأحمر والكبد والحبوب والسبانخ

المصادر الطبيعية للحديد

يوجد في مصادر حيوانية ونباتية، وفي الحيوانية في الكبد والقلب واللحوم الحمر، كما في الجدول (٢٨)

الجدول ٢٨ : المصادر النباتية والحيوانية التي تحوي الحديد

مصادر ممتازة	مصادر جيدة جدا	مصادر جيدة	مصادر فقيرة
الكبد	الروبيان	البيض	البطاطا
القلب	سمك السردين	الأسماك	الفطر
اللحم الهبر	المشمش	البروكلي	القرع
الفول	نخالة الحنطة	الطماطم	الخبز الكلي
البزاليا	جنين الحنطة	التمر	الخبز بدون نخالة
المحار	الزبيب	الأجاص	المخللات
الأصداف	فستق الحقل	الحبوب	البرقوق
السبانخ	الحمص	العدس	السلق

00:13:50

فوائد الحديد للإنسان

- يحول دون فقر الدم الناجم هن نقص الحديد
- يشجع انتتاج النخاع العظمي لخضاب الدم، أي خضاب خلايا الدم الحمراء الذي ينقل الأوكسجين إلى خلايا الجسم
- يشكل جزءاً من عدة أنزيمات وبروتينات موجودة بالجسم
- يخفف من آلام دورة الطمث
- يحسن جهاز المناعة لدى المصابين بنقص الحديد
- نقل الأوكسجين من الرئتين إلى خلايا وأنسجة الجسم كافة عن طريق صبغة الهيموجلوبين في خلايا الدم الحمراء

من يستفاد من جرعات الحديد الإضافية

- معظم النساء اللواتي تعانين من تدفق قوي لدورة الطمث
- الذي تخطى عمره ٥٥
- المرأة الحامل والمرضع
- الرياضيون والعمال الذين يمارسون نشاطات جسدية كثيفة
- كل من فقد قسماً من دمه، نزف في الأمعاء أو المعدة والعملية الجراحية أو جرح في الجسم وأراقه دم
- للأطفال ما بين أعمار شهرين إلى ٢٤ شهراً

أعراض نقص الحديد على الإنسان



- قلق وصداع
- ألم بالفم وعسر بالبلع
- اضطراب في خفقان القلب عند الإجهاد
- شعور دائم بالتعب
- حدة الطبع وفقدان النشاط
- شحوب في الجلد والأغشية المخاطية والأظافر واللسان
- تضاؤل القدرة العقلية وقصور في التعلم
- غثيان ودوار

- وحم (اشتهاء الأكل في غير موسمه)
- قلة الشهية خصوصا الأطفال

العوامل التي تؤثر في امتصاص الحديد

هناك عوامل تسهل من امتصاص الحديد هي

١. حاجة الجسم للحديد، كلما كانت حاجة الجسم للحديد موجودة كمرض الأنيميا فان الحديد الممتص يزداد من الأمعاء

٢. العوامل المختزلة، مثل وجود حامض الاسكروبيك الذي يحول الحديديك إلى حديدوز

وهناك عوامل تعيق امتصاص الحديد

١. وجود المواد الرابطة مثل الفايتات التي تمسك بالحديد وتمنع امتصاصه

٢. قلة إفراز الحوامض

٣. أي مرض يصيب خلايا المعدة والأمعاء، يعيق امتصاص الحديد

طرح الحديد

يطرح الإنسان الحديد عن طريق البول والغائط، بسبب تحطم عدد من كريات الدم الحمراء، حيث يطرح ٠.٦ ملغرام يوميا بالحالة الاعتيادية، كما يطرح عن طريق الجلد (العرق) والشعر والأظافر. تزداد هذه الكمية عند النساء (الطمث والولادة) وفي حالة النزف (إصابات أو عملية جراحية) عند كلا الجنسين

أسباب حدوث الأنيميا

١. لا يحصل امتصاص للحديد في معدة الإنسان

٢. الحديد في الغذاء قليل

٣. حالات النزف

٤. قلة إفراز الحامض الذي يساعد على امتصاص الحديد

٥. وجود مواد عالقة تعيق امتصاص الحديد كالفسفور والألياف

الحاجة لعنصر الحديد

حاجة الأطفال يوميا من الحديد حسب أعمارهم

١. أقل من سنة ٦ ملغرام

٢. ١–٢ سنة ٧ ملغرام

٣. ٤-٦ سنة ٨ ملغرام

٤. ٧-٩ سنة ١٠ ملغرام

٥. ١٠-١٢ سنة ١٢ ملغرام

٦. فوق ١٢ سنة ١٥ ملغرام

كيفية الاستعمال الحديد من قبل الإنسان

- تحتاج إلى ٣ أسابيع قبل أن تظهر أهمية الحديد المتناول
- يحسن فيتامين C من امتصاص الحديد
- المستويات المرتفعة من الحديد تسبب الإصابة بمرض القلب
- يوجد في أشكال صيدلانية مختلفة، كالأقراص والكبسولات والشروب والأمبول

تحذيرات

- يزداد الحديد في الأطعمة التي تطهو في قدور معدنية
- تجنب اخذ الحديد الصيدلاني بدون استشارة الطبيب
- توقف عن تناول الحديد عند الألم بالكبد أو الحساسية
- انتبه عند وجود الم في المعدة أو البنكرياس أو تناول الكحول أو الكلية

زيادة الحديد

نتيجة تناول كميات كبيرة من الحديد أو تحلل كريات الدم الحمراء، تؤدي إلى زيادة الحديد في الجسم وتعمل على:

١. إسهال مع دم، وتقيؤ بوجود دم

٢. قد يسبب خطر للإصابة بمرض السرطان

٣. تلف الكبد

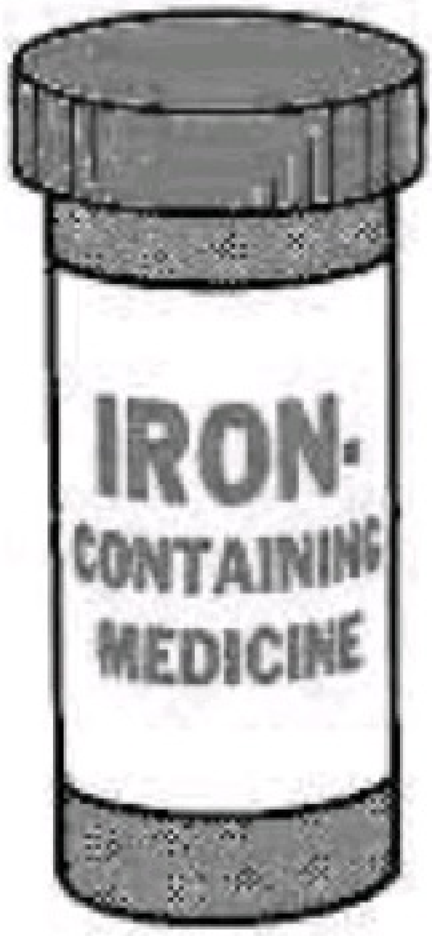
٤. زيادة مادة الهيموسدرين في الجسم

٥. تلون الجسم باللون البرونزي

٦. إصابة المريض بداء السكر الشديد

ويسبب التعرض لجرعة كبيرة جداً من الحديد الأعراض التالية بالتتابع، بداية تحدث قيء وإسهال، ثم وخلال ١٢ ساعة يشعر المتسمم بزوال الأعراض (وهنا تكمن الخطورة) حيث يظن المتسمم نفسه بخير

وفي الحقيقة يكون بدأ النقص في حجم الدم وتحمضنه، ثم يتزايد نقص الدم ليسبب صدمة وتزداد سماكة الدم ولزوجته فلا يعود يمر عبر الشرايين وقد تحدث وفاة.



إذا نجا المتسمم من الصدمة تبدأ مرحلة التخريب الكبدي والتي تكتنف على خطر الوفاة.

وإذا نجا المتسمم من هذه المرحلة يعتبر قد نجا فالمراحل التالية من التسمم ليست مهددة للحياة.

أما التعرّض المزمن للحديد، فهو أقل إحداثاً للوفاة وتعد عمليات نقل الدم المتكررة أحد أسبابه، ويسبب تدميراً للكلية، ويدمر البنكرياس مسبباً الإصابة بالسكري من النمط الثاني، واضطرابات هرمونية وزيادة سماكة الدم.

التسمم بالحديد Iron – Poisoning

الجرعة المسببة للتسمم: للأطفال ٤٠ملغم /كغم، للبالغين ١٠٠ملغم/كغم.

تفاعل الحديد مع المواد الأخرى

الأطعمة والمشروبات الأتية تخفف من امتصاص الحدي في الجسم

الحليب والشاي والجبن واللبن والبيض والقهوة

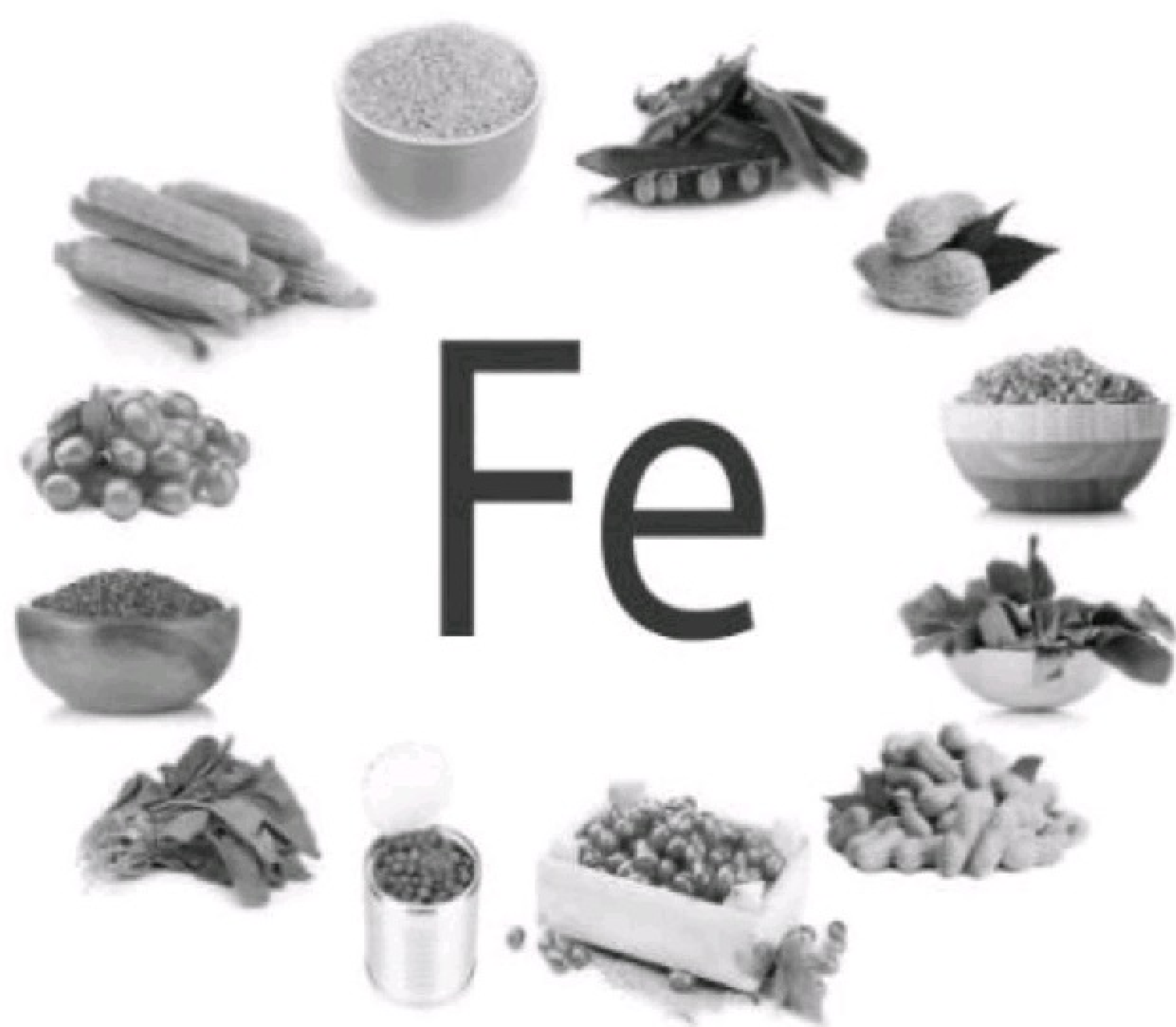
تحليل مختبري لكشف النقص

١. مقدار الدم الأحمر

٢. خلايا الدم الحمراء

٣. الحديد في مصل البلازما




Fe

الفصل الثالث عشر

الخارصين

استهلال

- يوجد الخارصين في التربة بمعدلات تتراوح بين ١٠–٣٠٠ جزء بالمليون
- تتراوح الكمية الكلية من الخارصين بالقشرة التربة ٠.٠٢٪ من وزنها
- يوجد في معادن الطين والمادة العضوية بصورة متبادلة
- الطبقات السطحية للتربة أكثر احتواء للخارصين بسبب وجود المادة العضوية
- يمتص في صورة Zn^{++}
- تحتوي أنسجة النبات ٢٥–١٥٠ جزء بالمليون
- يحتوي البصل ١٥٠ جزء بالمليون، و التفاح والأجاص تقل لتصل إلى ٢٠ جزء بالمليون
- يحتوي جسم الإنسان (٧٠ كغم) ٢ غرام من الخارصين
- الخارصين للإنسان مهم لعمل الأنزيمات، وعملية النضوج الجنسي وفي التئام الجروح ولحاسة التذوق

خارصين التربة

إن معدل تركيز الخارصين في الترب غير الملوثة هو في المدى ١٧ إلى ١٦٠ ميكروغرام Zn/ غرام تربة. معظمه يتواجد في التركيب الصفائحي للمعادن الأولية والمعادن الثانوية. نصف القطر الأيوني للخارصين (Zn^{2+}) يكون مشابهاً بصورة كبيرة لأنصاف أقطار Fe^{2+} وMg^{2+}، ولهذا وإلى مدى معين يمكن إن يحل Zn محل هذه الأيونات بواسطة الإحلال المتماثل (Replacement Isomorphous) في تراكيب المعادن وبصورة خاصة في معادن المغنيسيوم الحديدية مثل Augite وال hornblende وال Biotite. إن وجود الخارصين في هذه المعادن يكون محتوى الخارصين في عدد من الأتربة وفضلاً عن ذلك الخارصين يكون أو يشكل عدداً من الأملاح، وتضم هذه الأملاح Zns و (Zn Fe)S Sphalerite و ZnO (Zincite) و(Smitsonite) $ZnCO_3$، جزءاً من Zns قد يوجد تحت ظروف مختزلة. بينما أكثر الأملاح الأخرى تكون كثيرة الذوبان ولا يبقى في التربة لأي مدة زمنية. إن سليكات الخارصين $ZnSiO_3$ و $ZnSiO_4$ (Willemite) أيضا تتواجد في بعض الأتربة.

الخارصين ذائب في محلول التربة بصورته الأيونية أو بصورة كعقدة وانه قد أيضا يتواجد على سطوح التبادل لمعادن الطين أو المادة العضوية أو يكون مدمصا على السطوح الصلبة للتربة، والخارصين قد يدمص على شكل Zn^{2+} و $ZnOH^{+}$ أو ZnCl أو قد يكون غير قابل للاستخلاص وذلك بدخوله الفتحات (Holes)، التي هي أصلا مشغولة بـ Al^{3+} في الطبقة الثمانية الأسطح لمعادن الطين. إن تركيز الخارصين في محلول التربة هو قليل جداً وأنه بالمدى ٣×١٠^{-٥} إلى ٥×١٠^{-٣} مول. ذوبانية الخارصين تعتمد بدرجة كبيرة على درجة تفاعل التربة، وهي قليلة جداً عند درجة التفاعل العالية. وبدرجة خاصة تكون الذوبانية قليلة أو واطئة عندما $CaCO_3$ يتواجد بسبب الإدمصاص الخاص للخارصين أو التقييد بوساطة الكربونات. إلفه الإدمصاص للكربونات تقل وفق التدرج الآتي

Magnesite > Dolomite > Calcite

مما يدل على الألفة العالية للخارصين إلى Mg نسبة لكربونات الكالسيوم. الإدمصاص والتقييد للخارصين بوساطة الكربونات هو السبب الرئيس للجاهزية الواطئة للخارصين وإلى ظهور نقص الخارصين في الترب الكلسية.

الخارصين يتفاعل مع المادة العضوية في التربة ويتكون من ذلك كل من مركبات الخارصين العضوية الذائبة وغير الذائبة. وانه كمعدل ٦٠٪ من الخارصين الذائب في الأتربة يتواجد في مركبات الخارصين العضوية الذائبة. في مراجعة تفاعلات العناصر الصغرى والمادة العضوية. أن مركبات الخارصين العضوية الذائبة تشترك بصورة رئيسة مع الأحماض الأمينية والعضوية والفولفيك، العضوية وأحماض Fulvic، بينما مركبات الخارصين غير الذائبة العضوية ناتجة من اشتراكها بالأحماض الدبالية (Humic acids).

إن مستوى الخارصين في التربة يكون راجعاً بصورة كبيرة إلى المواد الرئيسة الأولية Parent Material. الأتربة الناشئة من الصخور النارية القاعدية تكون عالية في محتواها من الخارصين، وعكس ذلك الأتربة الناشئة من المواد الأولية الحاوية على السليكات (Material Siliceous Parent) إذ يكون الخارصين فيها قليلاً. وقد توجد كمية عالية من الخارصين في تلك التي تأثرت بفضلات المدينة وفضلات أخرى.

الكمية الكلية من الخارصين في التربة

تختلف الأراضي في المحتوى الكلي من الزنك اختلافاً كبيراً، حيث يتراوح هذا المحتوى من ١٠ إلى ٣٠٠ جزء في المليون، وبمتوسط عام ٨٠ جزء في المليون. وبصفة عامة لا تعبر الكمية الكلية من العنصر في التربة

00:15:31

على مدى حاجة النبات إلى التسميد من هذا العنصر من عدمه، حيث يتوقف ذلك على الكمية الميسرة والصالحة للامتصاص بواسطة النبات.

كمية الخارصين الميسرة بالتربة

تعتبر كل من الصورة الذائبة والمتبادلة ذات درجة تيسر مرتفعة للنبات، وإن كان هناك جزء قليل من الخارصين غير المتبادل والموجود داخل تركيب المعادن قد لا يفي بحاجة النبات حيث يتحرر بمعدل بطئ أثناء حدوث تجوية لهذه المعادن. وبصفة عامة وفي معظم الترب فإن تركيز الكمية الذائبة في محلول التربة لا تتعدى أجزاء قليلة من المليون، وفي الغالب تكون أقل من واحد جزء في المليون. وهناك عدة عوامل تؤثر على سلوك ودرجة تيسر الخارصين في التربة وتشمل

١. رقم الـ pH

درجة تيسر الخارصين تتوقف بدرجة كبيرة على pH التربة، حيث يزداد التيسر بانخفاض الـpH، ويتضح ذلك في الترب الحامضية. وعلى العكس من ذلك نجد في الترب القاعدية تكون الكمية الميسرة قليلة جداً، حيث وجد أن تركيز الخارصين يقل ١٠٠ مرة مع كل وحدة زيادة في قيمة الـpH . ويعزى ظهور أعراض النقص للخارصين على النباتات النامية في الترب الجيرية إلى هذا السبب بصورة أساسية. وعلى ذلك فأي عامل يؤثر على خفض أو رفع الـpH من شأنه أن يؤثر على زيادة أو انخفاض درجة تيسر الخارصين للنبات. فمثلاً إضافة الجير للأراضي الحامضية يرفع رقم الـpH، وبالتالي يقلل من تيسر هذا العنصر، بينما الاستخدام المستمر للأسمدة ذات التأثير الفسيولوجي الحامضي مثل كبريتات الأمونيوم يؤدى إلى خفض الـpH ، وبالتالي زيادة تيسر الخارصين. وفي بعض الترب الحامضية يزداد التيسر لدرجة وصول التركيز لدرجة السمية. وعموماً وجد أن أفضل رقم pH للتربة يكون عنده الخارصين ميسر هو في مدى من ٥.٥ - ٦.٥.

٢. المادة العضوية

مع تحلل المادة العضوية بالتربة تنطلق المركبات العضوية والتي تعمل عمل المركبات المخلبية مما تزيد من تيسر الخارصين. وأوضحت كثير من الدراسات بأن الترب الفقيرة في المادة العضوية تعانى من نقص في الخارصين الميسر، وتزداد الكمية الميسرة في نفس التربة مع إضافة المادة العضوية. وقد يختلف تأثير المادة العضوية على تيسر الخارصين وذلك حسب نوع المركب الناتج من التحلل والمرتبط مع الخارصين. فالأحماض العضوية ذات الوزن الجزيئي المنخفض مثل حمض الفولفيك Fulvic acids تكون معقدات

زنك ذائبة في الماء، بينما المركبات ذات الوزن الجزيئي المرتفع مثل اللجنين والمركبات التي تحوى أحماض الدباليك Humic acids تكون معقدات غير ذائبة في الماء. ويلاحظ أن إضافة المادة العضوية الترب القاعدية والجيرية يزيد من تيسر الخارصين بها سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة عن طريق خفض رقم للتربة.

٣. كربونات الكالسيوم

كثير من الأبحاث أوضحت بأن هناك تأثيراً سلبياً لكربونات الكالسيوم على تيسر الخارصين في التربة الزراعية. وهناك العديد من التفسيرات التي توضح هذا التأثير ومنها: أولاً: تأثير غير مباشر وذلك لتأثير كربونات الكالسيوم على رفع رقم pH التربة. ثانياً: قد يحدث تفاعل بين الكربونات والخارصين وخاصةً في حالة وجود كربونات المغنيسيوم (المغنيسايت $MgCO_3$ والدولوميت $Mg,Ca(CO_3)_2$) وذلك بإحلال الخارصين محل المغنيسيوم الموجود بهذه المركبات. ثالثاً: حدوث امتزاز للخارصين على أسطح كربونات الكالسيوم، وبالتالي تقل الكمية الميسرة.

٤. تأثير قوام التربة

الترب الخفيفة خشنة القوام قدرتها على الاحتفاظ بالخارصين قليلة، وعلى ذلك فإن الترب الرملية يعانى النبات النامي فيها من نقص الخارصين، بينما العكس في الترب الطينية ناعمة القوام. ولقد وجد أن لبعض معادن الطين القدرة على امتزاز الخارصين على أسطحها، بل أكثر من ذلك فإنه قد يحدث تثبيت للخارصين ويصبح في صورة غير صالحة للنبات، فمعادن البروسيت Brucite والفيرميكيولايت Vermiculite، وأيضا الطين المشبع بالمغنيسيوم Mg- Saturated Clay تكون قدرتها على تثبيت الخارصين مرتفعة بالمقارنة بمعادن المسكوفيت Muscovite ، البينتونايت Bentonite ، الكاؤولينيت Kaolinite ، البيروفيلليت Pyrophillite والبيوتيت Biotite فإنها ذات قدرة محدودة على التثبيت. كما تلعب الأكاسيد الحرة في الترب الحامضية دوراً أساسياً في تقليل درجة تيسر الخارصين في هذه الترب.

٥. تأثير مستوى الفوسفات في التربة

التركيز المرتفع من الفوسفات الذائبة، سواء الموجودة أصلاً بالتربة Native Phosphorus أو الناتجة من التسميد الزائد بالفوسفات يؤدى إلى تأثير عكسي على الخارصين كعنصر مغذى للعديد من المحاصيل. ويكون التضاد Antagonistic متفاقم في الأراضي الجيرية. وهناك عدة تفسيرات لذلك:

أولاً: قد يحدث ترسيب للخارصين في صورة فوسفات الخارصين $Zn_3(PO_4)_2$ وهي مركبات قليلة الذوبان وقد أُعتبر هذا المركب هو المسئول عن نقص الخارصين الميسر في كثير من التربة.

ثانياً: إن قدرة الفوسفور على زيادة النمو للنبات تفوق كثيراً قدرة الخارصين وهذا بالطبع يؤدى إلى انخفاض تركيز الخارصين في النبات وخاصةً في القمة، كنتيجة لتأثير التخفيف Dilution Effect.

ثالثاً: حدوث اضطراب حيوي داخل النبات لعدم حدوث التوازن المطلوب بين العنصرين داخل النبات، أي أن الفوسفور يشجع على ظهور أعراض نقص الخارصين بسبب عدم التوازن بين نسبة الفوسفور إلى الخارصين P /Zn وهذا نتيجة اختلاف معدل حركة الخارصين والفوسفور من الجذر إلى القمة.

رابعاً: فسر بعض الباحثين بأن السبب يرجع إلى تكوين معقدات بين الخارصين والبروتين داخل المجموع الجذري وأن الفوسفور يشجع على تكوين هذه المعقدات.

خامساً: حدوث إعاقة لامتصاص الخارصين نتيجة لزيادة تركيز الكالسيوم في محلول التربة مع إضافة الأسمدة الفوسفاتية.

٦. تأثير الأسمدة النيتروجينية

أشارت نتائج كثير من الباحثين بأن إضافة الأسمدة النيتروجينية تؤدى إلى نقص الخارصين الميسر للنبات، وبالتالي تظهر أعراض نقص هذا العنصر على النباتات. وهناك عدة تفسيرات منها: أن الخارصين يتحد مع النترات ويتكون نترات الخارصين وهو مركب عالٍ في درجة ذوبانه في الماء، وبالتالي يتحرك مع مياه الصرف ويحدث غسيل للخارصين من منطقة نمو الجذور، ومن جهة أخرى فإن نترات الخارصين المتكونة تكون مصدر لإمداد النبات بالخارصين الميسر. أما التفسير الآخر هو قابلية النبات لتثبيت الخارصين في المجموع الجذري وذلك عن طريق تكوين معقدات مع البروتينات غير متحركة Immobile Zn-protein complexes، وبالتالي تتقيد حركة الخارصين داخل النبات وتظهر الأعراض على النموات الحديثة. وتجدر الإشارة أن الأسمدة النيتروجينية ذات التأثير الحامضي تزيد من تيسر الخارصين وذلك نتيجة لخفض رقم الـpH والعكس مع الأسمدة القاعدية التأثير.

صور الخارصين في التربة

١. الصورة الذائبة، ويوجد في محلول التربة

٢. الخارصين المدمص على سطوح المعادن

٣. الخارصين المدمص من المواد العضوية

مصادر الخارصين في التربة

١. الكبريتيدات مثل معدن SpHalerite ZnS

٢. الكربونات مثل معدن$ZnCO_3$ Smithsonite

٣. السيليكات مثل معدن

Hemimorp Hite $Zn_4(OH)2Si_2O_7.H_2O$

العوامل المؤثرة على جاهزية الخارصين في التربة

١. درجة تفاعل التربة (pH) يكون الخارصين أكثر جاهزية في الترب الحامضية بسبب تأثره بكربونات الكالسيوم الموجودة بكميات عالية في الترب القلوية

٢. المستويات العالية من الفوسفات حيث الترابط على أشده بين HPO_4^- والخارصين

٣. العناصر الصغرى الأخرى، يحصل تنافس للخارصين عندما تكون العناصر (Fe^{++} و Mn^{++} و Cu^{++}) بكميات عالية

٤. عمق التربة، تقل الجاهزية مع العمق

٥. تأثير معادن الطين الأكاسيد الحرة، مثل أوكسيد الألمنيوم وأكسيد الحديد

٦. تأثير المادة العضوية، حيث تتكون معقدات ذائبة ٦٠٪ منه ومعقدات غير ذائبة

٧. انخفاض درجة الحرارة والأمطار الغزيرة وارتفاع كمية الرمل في التربة، عوامل تؤدي إلى انخفاض جاهزية الخارصين

٨. تأثير الأسمدة، النيتروجينية فسماد نترات الصوديوم واليوريا لها تأثير فعال في زيادة نقص الخارصين في النباتات

الخارصين في تغذية النبات

الخارصين من العناصر المعدنية المهمة والضرورية لنمو النبات وله دور في العديد الوظائف الحيوية وبالتالي فإنه يوجد في جميع الأنسجة النباتية ويتجمع بتركيزات مختلفة في الأجزاء المختلفة للنبات والتي يمكن ترتيبها حسب محتواها كما يلي الجذور> السيقان > الأوراق > الثمار

ويمكن إيجاز أهم الوظائف الحيوية للخارصين في النبات كما يلي

١- تنشيط كثير من الأنزيمات والخاصة بتمثيل ثاني أكسيد الكربون CO_2. ومن أكثر الأنزيمات التي نشط في وجود هذا عنصر الخارصين إنزيم Fractose 1.6-bisphosphatase إنزيم

الـCarbonic anhydrase والذي يشجع على تحلل حامض الكربونيك إلى ثاني أكسيد الكربون والماء، وأيضا عدد من إنزيمات Dehydrogenases

٢ – ضروري لتخليق الحامض الأميني التربتوفان Tryptophane والذى يتحول إلى أُوكسين auxin وهو عبارة عن In dole acetic acid والذي يساعد على زيادة النمو في النبات. حيث وجد أن النباتات التي تعانى من نقص الخارصين يكون تركيز الاوكسين في الجذور والبراعم قليل جداً

٢– ضروري لمختلف العمليات الحيوية الـ metallo - enzymes - carbonic anhydrase, alcohol dehydrogenase.

٣– يلعب دور في تخليق الأحماض النووية والبروتينات.

٤ . يحفز تكون سايتو كروم C ويحافظ على ثبات أجزاء الرايبوسومات.

٥ . يشترك في تكوين النشا وتنشيط إنزيم النشا starch synthetase

٦ – عامل مساعد في تفاعلات إنزيمات الأكسدة والاختزال. الوظائف الحيوية.

الخارصين في فسلجه النبات

الخارصين يتم امتصاصه على شكل Zn^{2+} وهو غير واضح إلى وقتنا هذا بان امتصاصه هل هو بالانتشار الميسر أثناء قنوات الغشاء الخاصة بالخارصين أو أنه بوساطة نواقل خاصة. من الممكن كلا النظامين يعملان على نقل Zn^{2+} عبر غشاء البلازما. في كلتا الحالتين الامتصاص يقاد بوساطة مضخة H^{+} لغشاء البلازما لما وهي بذلك تعود إلى توفير ATP.جود جينات للنواقل الخاصة بالخارصين تحدث (Mediating) امتصاص الخارصين المعتمد على تركيز الخارصين (Zn Concentration-Dependent Uptake) وقيم Kn بين ١٠ و ١٠٠ ملمول/ م^{٣}. هذه القيم ترتبط بتراكيز Zn^{2+} السائدة في الرايزوسفير. المثير هو أن البروتينات التي وجدت لامتصاص Zn^{2+} الخاص لم تظهر أي نشاط لامتصاص.

أن التأثير التناقصي لامتصاص الخارصين بوساطة القواعد هو (Ba^{2+} = Sr^{2+} = Ca^{2+} Mg^{2+}) يفترض بان هذه التأثيرات تعود إلى قنوات الكاتيون ذات الألفة الواطئة التي قد تؤدي إلى التزاحم غير المتخصص بين Zn^{2+} والكاتيونات القاعدية. أن امتصاص الكاتيونات (الزنك، الكالسيوم، الكادميوم) إلى داخل الفجوة هو H^{+}/antiport ولذا فإنه يقاد باختلاف درجة التفاعل بين الفجوة والسايتوسول، ان هذا النقل بغشاء الفجوة يحدث بوساطة نواقل خاصة. إذا كانت هذه هي الحالة فإن Zn^{2+} سوف

00:15:56

أيضا يتزاحم مع أنواع كاتيونية أخرى على القوة المسيرة (driving force = الاختلاف بدرجة التفاعل). بشكل مشابه إلى Mg^{2+} و Ca^{2+} الخارصين أيضا يوجد في عصير الخشب بصورة Zn^{2+} وبذات الصورة ينتقل من الجذور إلى الأجزاء العليا.

أدلة الحمل الكهربائي (Electrophoretic) وضحت بأن الخارصين غير مقيد بروابط ثابته كما في حالة Fe^{2+} وNi^{2+} وCu^{2+} في المواد المفروزة من نبات الطماطم بأن الخارصين قطب قليل السالبية واستنتج بأن الخارصين لا ينتقل على شكل Citrate لان مركبات سترات الخارصين هي قطب موجب. لمعظم أنواع النباتات تراكيز Zn في الأوراق التي هي أقل من ١٠ إلى ١٥ ميكروغرام Zn / غرام مادة جافة هي دليل على نقص الخارصين وان التراكيز بالمدى ٢٠ إلى ١٠٠ ميكروغرام Zn / غرام مادة جافة هي ملائمة.

فوائد لخارصين في النبات

١. له دور في تكوين سلسلة من الأنزيمات الأساسية ومنها Carbonic Anhydrase، Aldolase، Alcohol Dehydrogenase، Glutamic Dehydrogenase، Lacticacid Dehydrogenase، Malic Dehydrogenase وفي تنشيط Enolase، Proteinase، Peptidase

٢. يعمل كمنظم للرقم الهيدروجيني في الكلوروبلاست

٣. يشترك في تكوين النشا

٤. يحفز عمل منظمات النمو

٥. الخارصين عنصر متخصص لأنزيمات السايتوكرومات ولا تستطيع باقي العناصر تعويضه وهو ضروري لعملية الفسفرة وتكوين الكلوكوز

٦. يحافظ على ثبات أجزاء الرايبوسومات

٧. يتحكم بكمية المياه التي يمتصها النبات

٨. لقد وجد وجود علاقة بين نقص عنصر الخارصين ونقص في إنتاج الاوكسين (IAA) أندول حامض لخليك في الخلايا النباتية وان فشل النباتات التي تعاني من نقص في إنتاج الاوكسين هو فعل متخصص بنقص الخارصين ولا يمكن لعنصر أخر أن يحل محله أو يعوضه في إنتاج الاوكسين.

٩. إن التسميد بالعناصر الغذائية الصغرى ومنها الخارصين له دور كبير في تكوين الحامض الأميني التربتوفان ودوره مع الحديد في زيادة عملية التركيب الضوئي لذا فان إضافة هذه العناصر يؤدي إلى ارتفاع قدرة النبات على إنتاج كميات اكبر من المركبات ذات الأثر الطبي مقارنةً مع النباتات غير المعاملة

١٠. وللخارصين أهمية في تصنيع الحامض الأميني التربتوفــان TryptopHane ونقصه يؤثر في تكون حبوب اللقاح

١١. له دور مهم في بناء الكلوروفيل على الرغم من عدم دخوله في تكوينه إلا انه يدخل في بناء الأنزيمات المسئولة عن تكوين الكلوروفيل

١٢. للخارصين دور كبير في تمثيل النتروجين في النبات لذا فان نقص الخارصين يؤدي إلى انخفاض حاد في مستوى الحامض النووي RNA ومحتوى الخلايا من الرايبوسومات Ribosomes مما يسبب تثبيط تكوين البروتينات

١٣. وجود علاقة بين تركيز عنصر الخارصين في النبات وبين نشاط وفعالية إنزيم الرايبونيوكليز Ribonuclease هذا العنصر ينظم تصنيع البروتينات في النبات من خلال تأثيره على الحامض النووي الرايبونيوكليك Ribonuclic acid

احتاج النبات لعنصر الخارصين

تختلف النباتات في احتياجها لعنصر الخارصين

وعموما اقل من ٢٠ جزء بالمليون في أجزاء النبات هو نقص في عنصر الخارصين وأكثر من ١٥٠ جزء بالمليون هو تركيز سام

نباتات الفاصوليا والعنب والخوخ كثيرة الحساسية للخارصين، والشمندر والبصل والبطاطا والطماطم متوسطة الحساسية، والاسبركس والجزر والكرفس والبازلاء غير حساسة

نقصان الخارصين

النباتات التي تعاني من نقصان الخارصين في أكثر الأحيان يظهر عليها الاصفرار في العروق الوسطية للورقة. وبقية مساحة الورقة تكون ذات لون أخضر شاحب (Pale) أو اصفر أو أبيض. في النباتات ذوات الفلقة الواحدة ولاسيما الذرة الصفراء، تتكون حزم صفراء اللون على أي جانب من جوانب العرق الوسطي للورقة التي لاحقاً تصبح بقع ميتة. السلاميات (Internodes) تكون قصيرة وكثيراً ما يتأثر تكون الحبوب. في أشجار الفاكهة تطور نمو الورقة يتأثر عكسياً، إذ تتكون أوراق صغيرة صلبة على شكل

مجاميع أو على شكل وردي (Rosettes) الحديث التكوين، غير منتظمة التوزيع في نهاية القسم العلوي من النبات (Shoot) الحديث التكوين، وفي أكثر الأحيان الأجزاء العليا من النبات تبدأ بالموت واحدة بعد الأخرى وتتساقط الأوراق قبل اكتمال نموها (Prematurely). في أشجار التفاح يظهر المرض في بداية السنة أو الموسم ويعرف هذا المرض بـ Rosette أو Little-Leaf، لا يحد النقص من نمو الأوراق فحسب بل أن عدداً قليلاً من البراعم يتكون وكثير من البراعم تبقى غير متفتحة وبناء على ذلك فإن الحاصل يكون نقصانه قاسياً. لحاء خشب الأشجار التي تقاسي من نقصان الخارصين تتأثر صفاته فيكون خشناً وسريع الانكسار.

سمية الخارصين والمقاومة

التجهيز الفائض بالخارصين يؤدي إلى انخفاض نمو الجذور وتمدد الورقة ويتبع ذلك الاصفرار. في فول الصويا تشكل بقع بُنية محمرة اللون تحت ظروف زيادة الخارصين. سمية الخارصين قد تتواجد في الأراضي القريبة من ترسبات معادن الخارصين الخام أو من التراكمات التالفة. بعض أنواع النباتات تكون مقاومة للخارصين وتستطيع أن تنمو في الأتربة التي يكون فيها الخارصين عالياً بصورة غير اعتيادية. مستويات الخارصين بين ٦٠٠ إلى ٧٨٠٠ ميكروغرام Zn / غرام مادة جافة لأنواع النباتات المقاومة النامية في الأتربة (Calamine) التي تحتوي على سليكات أو كربونات الخارصين. بوصف عام التراكيز بين ١٥٠-٢٠٠ ميكروغرام Zn/ غرام مادة جافة لأنسجة النبات تعد سامة. بعد العمل في منطقة North wales التي حصلت فيها عملية البحث عن المعادن سابقاً بأن أعداد العشب *Agrostis tenuis* قد تطورت وكانت مقاومة للأتربة الملوثة بالخارصين والرصاص في تلك المنطقة. وقد أخذت معلومات قيمة وكثيرة عن فعالية المعادن الثقيلة ومقاومتها من هذه المشاهدات ولقد تم الاستفادة منها بتمييز الأصناف المقاومة من غير المقاومة، وقد أعطت وسائل مفيدة لدراسة سمية الخارصين ومعادن ثقيلة أخرى. والسلالات المقاومة للخارصين من النبات *Agrostis tenuis*- امتصت كمية أكبر من الخارصين إلى داخل جذورها من السلالات غير المقاومة قسم من ميكانيكية المقاومة للخارصين يعتمد على مقدرة الأصناف المقاومة على ربط الخارصين بجدران الخلية النباتية. في تجارب مع الخارصين – ٦٥ (^{65}Zn) بأن الخارصين يتحد مع جزيئات ملح الحامض البكتيني (Pectate) في النباتات المقاومة، وهناك أدلة ملحوظة بأن الربط بجدار الخلية في الجذور ليس هو العملية الوحيدة التي بوساطتها يقيد التركيز العالي للخارصين من الأوجه الحيوية الفعالة. السلالات المقاومة

للخارصين أيضا تجمع الانيونات العضوية ولاسيما الستريت والماليت ولهذا فلقد اقترح بان هذه السلالات تعزل (Sequester) Zn بشكل مركبات عضوية في فجوة الخلية. قسم من أنواع النباتات والأعشاب البيئية قادرة على مقاومة مستويات عالية من الخارصين في الأوراق وفي أجزاء النبات العليا الأخرى. هناك بعض الأدلة الكيمياوية الحيوية التي تعود إلى حقيقة كون الأوراق قادرة على تجميع كميات كبيرة من الخارصين بدون أن تقاسي من التأثير السمي. الخارصين الفائض يترسب بشكل رئيس في الأوراق القديمة في دراسة على احد أصناف نبات *Agrostis tenuis* المقاوم للخارصين. وجد بعدم وجود تحفز على تجمع الخارصين في جدران الخلية بل وجد مستويات عالية من الخارصين في السيتوبلازم. ولقد اتضح بأن الـ Mitochondria بطريق ما مشاركة في عدم تنشيط (inactivation) الخارصين. أن امتصاص الأوكسجين من قبل الـ -Mitochondria في النبات *Agrostis tenuis* المقاوم للخارصين قد توقف بوساطة الخارصين إلى حالة أوطئ مما هو عليه في حال مستخلص الـ mitochondria من النباتات البيئية الحساسة للخارصين. أن بعض أنواع النباتات تقاوم المستويات العالية من الخارصين الموجودة في التربة نتيجة مقدرتها الواطئة لامتصاص الخارصين (ميكانيكية استثناء = exclusion mechanism).

تركيز الخارصين في النبات

هناك مدى واسع في تركيز الخارصين داخل النباتات والذى يتراوح من إلى ٢٠ إلى ١٠٠ جزء في المليون، وفي المادة الجافة من ١ إلى ١٠٠٠٠ جزء في المليون. وهناك عدة عوامل تؤثر على مستوى الخارصين في النبات أهمها:

- الجزء المأخوذ كعينة: الأجزاء الحديثة النمو تحتوى على زنك أكثر من الأجزاء المسنة.
- عمر النبات: حيث يقل تركيز الخارصين بزيادة النبات في العمر.
- التداخل بين العناصر Nutrient interactions: عادة ما يقل تركيز الخارصين بزيادة الفوسفور الميسر بالتربة ؛ وأيضا زيادة كلٍ من الحديد والمنغنيز.

يمكن القول بأن تركيز الخارصين في النبات يعكس مدى تيسر الخارصين في التربة النامي بها هذا النبات والظروف البيئية المؤثرة عليه. وعلى ذلك فاختبارات الأنسجة النباتية (تحليل العينات النباتية) تكون معبرةً عن معرفة مدى حاجة النبات إلى التسميد بالخارصين من عدمه عندما تؤخذ العينات النباتية من المكان وفي الوقت المناسبان.

المستويات الحرجة للخارصين في النباتات

تختلف حدود النقص والكفاية وأيضا حدود السمية للخارصين من نبات لآخر، و في كثير من المحاصيل إذا انخفض التركيز إلى ٢٠ جزءاً في المليون في المادة الجافة يكون هناك احتمال بأن النبات عنده مشكلة نقص في الخارصين، بينما إذا انخفض التركيز إلى ١٥ جزءاً في المليون يكون هناك نقص أكيد في هذا العنصر.

ومن الجدول (٢٩) يجب الإشارة إلى أن حد "الكفاية" يعني إنه عند هذا التركيز للعنصر داخل النبات تكون كمية الخارصين كافية وملائمة لإعطاء أعلى محصول، بينما عند حدى "منخفض" و "مرتفع" يكون هناك مشكلة في عدم اتزان الخارصين مع العناصر الأخرى داخل النبات سواء بالنقص أو بالزيادة على التوالي. أما في حالة "حد النقص" فهذا يعنى أن هناك تأثير على النمو، وطبيعي فإن حد "السمية" لا يحتاج إلى تفسير.

وعلى ذلك يمكن تحديد ما إذا كان النبات يعانى من نقص في عنصر الخارصين من عدمه وذلك عن طريق معرفة تركيزه في الأنسجة النباتية.

الجدول ٢٩: الحدود الحرجة للخارصين في بعض المحاصيل الهامة

المحصول	مرحلة النمو تركيز الخارصين (جزء في المليون)					
	حد النقص	منخفض	حد الكفاية	مرتفع	حد السمية	
الذرة (أوراق)	النمو الخضري	صفر – ١٠	١١ – ٢٠	٢١ – ٧٠	٧١ – ١٥٠	١٥٠
فول الصويا(أوراق)	النمو الخضري	صفر – ١٠	١١ – ٢٠	٢١ – ٧٠	٧١ – ١٥٠	١٥٠
القمح – الشعير	٨ – ٣٠سم نمو	صفر – ١٠	١١ – ٢٠	٢١ – ٤٠	٤١ – ١٥٠	> ١٥٠
القطن	النمو الخضري	–	–	٢٠ – ٣٠	–	–
الأرز	النمو	صفر –	١١ –	٢١ –	–	–

	الخضري	١٠	٢٠	٥٠		
بنجر السكر	النمو الخضري	صفر – ١٠	١١ – ٢٠	٢١ – ٧٠	+ ٧٠	–
البطاطس	–	–	صفر – ١٦	١٧ – ٤٠	+ ٣٠	–
البرسيم الحجازي	–	صفر – ٨	–	–	٩ – ١٤	–
الطماطم (الأوراق)	–	صفر – ١٠	١١ – ٢٠	٢١ – ١٢٠	+١٢١	–
الموالح	–	صفر – ١٥	١٦ – ٢٥	٢٦ – ٨٠	٨١ – ٢٠٠	> ٢٠٠
التفاح (الأوراق)	–	صفر – ١٥	١٦ – ٢٠	٢١ – ٥٠	+ ٥١	–
العنب (السويقة)	–	–	صفر – ٣٠	٣١ – ٥٠	+٥١	–

عن الـ FAO سنة ١٩٨٣.

أعراض نقص الخارصين في النبات

١. الخارصين عنصر غير متحرك في التربة والنبات



٢. تظهر الأعراض في الأجزاء الحديثة العليا

٣. تبدأ الأعراض بظهور اصفرار في العروق الوسطية للورقة وبقية الورقة ذات لون اخضر شاحب

٤. في التفاح يمتاز بصغر الأوراق ومرض التورد Rosselte حيث تتجمع الأوراق على هيئة باقة ورد

٥. في الحمضيات يسبب نقص الخارصين إلى ظهور بقع فهوائية على الثمار

00:16:32

وتكون نهاية الجزء العلوي للشجرة أوراق صغيرة صلبة على شكل مجاميع وتبدأ الأوراق بالموت الموضعي والتساقط

١ – تبدأ الأعراض بظهور لون أخضر باهت، ثم يتحول إلى الأصفر، ثم يتطور إلى بقع يصبح لونها أبيض مع انعكاس الشمس عليها ويكون ذلك جزئياً على الأوراق السفلية المسنة مع شدة النقص، وفي بعض المحاصيل يمكن ظهور بقع بنية تشبه الصدأ.

٢– اصفرار الأوراق وظهور بقع كبيرة وعامة الانتشار على الورق وتكون مميزة بين العروق. وغالباً ما تكون هذه الأعراض على الورقة الثانية أو الثالثة كاملة النضج من القمة.

٣– ظهور أوراق صغيرة الحجم على قمة الساق (حدوث ما يعرف بظاهرة التورد).

٤ – ظهور النبات قزم نتيجة لصغر طول السلاميات بالساق

٥– حدوث موت للأنسجة المتأثرة قصيرة وتسقط الأزهار قبل تفتحها ويتبعها موت النبات، و يكون النبات غير مستوى في استقامته ويتأخر النضج.

علاج نقص الخارصين

هناك العديد من المركبات المحتوية على الخارصين والتي تستخدم كمصدر لتسميد النباتات النامية في الترب التي تعاني من نقص هذا العنصر. علماً بأن طريقة الإضافة ونوع السماد تتوقف على عوامل كثيرة أهمها نوع التربة، وشدة النقص ووقت الإضافة... وخلافه. وطرق الإضافة متعددة وهى: الإضافة الأرضية (نثر – تكبيش)، التسميد الورقي (الرش)، تعفير البذور بمسحوق السماد أو نقع البذور في محلول السماد، عمل جروح في سيقان الأشجار ووضع قطعة إسفنجية مبللة بمحلول أو عجينه تحوى السماد

ويجب الإشارة إلى أن خصائص التربة الزراعية تلعب دوراً هاما في اختيار نوع السماد وطريقة إضافته. ففي الترب الرملية والترب القاعدية يفضل إضافة أسمدة الخارصين بطريقة الرش وذلك لتجنب فقد كمية كبيرة منه في التربة الرملية عن طريق الغسيل، خاصةً عند استخدام كبريتات الخارصين والمعروف بدرجة ذوبانه المرتفعة في الماء، بينما في الترب القاعدية تكون الكمية المثبتة كبيرة. وعلى ذلك يفضل استخدام المركبات المخلبية في الترب القاعدية والجيرية. أما بالنسبة للترب المنزرعة بالرز يفضل استخدام سماد أوكسيد الخارصين ZnO على كبريتات الخارصين $ZnSO_4$ بالرغم من أن درجة ذوبانه أقل وذلك لحدوث اختزال للكبريتات وينتج غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S السام.

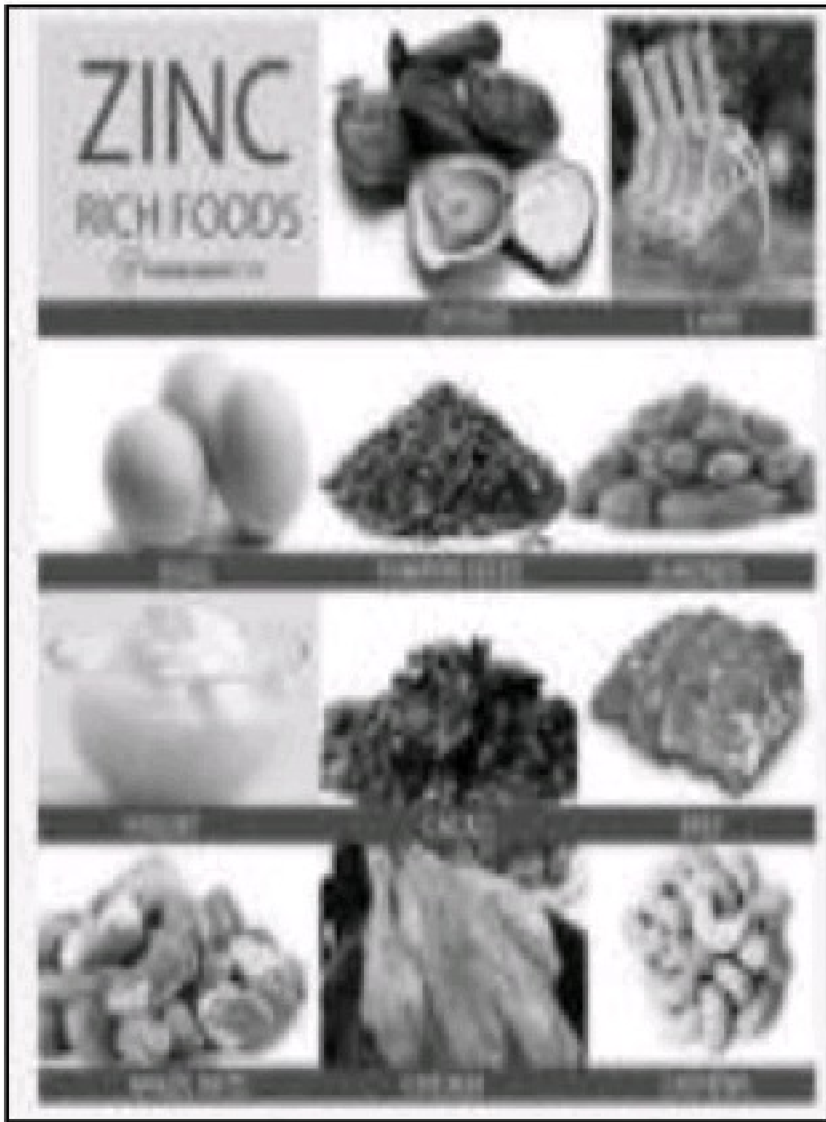
وطبقاً لدراسات منظمة الغذاء والزراعة (FAO) بأنه كقياس عالمي اكثر من ٣٠٪ من الترب الزراعية تعاني من نقص الخارصين. وهذه تظهر بان إضافة أسمدة الخارصين تحتاج إلى توجه الأنظار له. امتصاص الخارصين من قبل النبات يكون اعتيادياً اقل من ٠.٥ كغم / هكتار بالنسبة. من الناحية العملية ان نقصان الخارصين يصحح أما بوساطة عملية رش الأسمدة على النبات أو أضافتها إلى التربة. في الأترية الرملية الحامضية يكون مفضلاً رش النبات أو استعمال سماد يكون فيه الخارصين اقل جاهزية لان $ZnSO_4$ تكون سهلة الغسل من التربة. والشيء نفسه يطبق في الأترية القاعدية التي لها القابلية على تثبيت الخارصين بقوة. تحت مثل هذه الظروف الخارصين المغلف(Chelates Zn) في اكثر الأحيان يستعمل في حالة الزراعة المكثفة لغرض الإنتاجية في المدارات الاستوائية وشبه الاستوائية إذ تزداد ظاهرة نقصان الخارصين. تأثير إضافة الخارصين في حاصل الحبوب لنبات الحنطة في موقعين في مصر قد دل على أنه في الأترية الرسوبية يكون تجاوب الحنطة للخارصين متوسطاً، بينما طريقة إضافة الخارصين بالرش تكون كفاءتها اعلى من حالة إضافة السماد إلى التربة. للأترية الكلسية إضافة الخارصين إلى التربة أدت إلى حصول زيادة ملحوظة في الحاصل. العديد من المساحات المزروعة بالرز تعاني من نقص الخارصين وبحاجة إلى إضافة الخارصين. المستويات من ٥٠ إلى ١٠٠ كغم Zn / هكتار بصورة $ZnSO_4$ يوصى بها. إضافة الخارصين سوية مع الجبس في الكثير من الأحيان. أن الرز يعاني من نقص الخارصين تحت الظروف المناخية الباردة. بوصف عام إضافة الخارصين إلى التربة هو الأفضل مقارنة بالإضافة بطريقة الرش. المناقشة بالتفاصيل لأسمدة الخارصين واستعمالها. إضافة الخارصين قد تخفض من امتصاص Cd. الخارصين المضاف بمستويات ٥٠ و ١٠٠ كغم Zn / هكتار يخفض من تراكيز الكادميوم في درنات البطاطا بشكل معنوي. هناك اختلاف كبير بين النباتات المختلفة في درجة حساسيتها للخارصين الميسر في التربة، فمثلاً عند تركيز معين من الخارصين الميسر في التربة قد يعاني نبات معين من نقص الخارصين، بينما لا نجد ذلك مع نباتات أخرى عند نموها في نفس التربة عند نفس التركيز. حيث وجد أنه عندما كانت كمية الخارصين المستخلصة من التربة بمركب DTPA هي ٠.٨ جزء في المليون أظهرت نباتات الأرز النامية في تلك التربة معاناة نتيجة نقص الخارصين، بينما لم تتأثر نباتات القمح النامية في نفس التربة (FAO) سنة ١٩٨٣. وعلى ذلك يمكن القول بأن التربة التي يظهر فيها أعراض نقص الخارصين على نبات معين قد تكون ملائمة لمحاصيل أخرى دون مشاكل من نقص هذا العنصر، وجدول (٧-٥) يوضح درجة حساسية المحاصيل المختلفة لنقص الخارصين.

أهم الأغذية التي تحتوي خارصين

النباتية: السمسم، فول الصويا، بذور زهرة الشمس، النخالة، الحنطة

الحيوانية: لحم البقر والغنم، قلب الدجاج، صفار البيض، السمك، الحليب، المحار، الديك الرومي.

فوائد الخارصين للإنسان



١. يخفف من تفاعلات الأكسدة
٢. يحافظ على حاستي الذوق والشم
٣. يشجع النمو الطبيعي
٤. يساعد في شفاء الجروح
٥. يساعد في تحليل الأحماض النووية
٦. يشجع انقسام الخلايا وإصلاحها ونموها
٧. يحافظ على مستوى فيتامين A في الدم
٨. يحسن الخصوبة العادية
٩. يحسن الذاكرة



الفصل الرابع عشر

المنغنيز

استهلال

- يوجد على هيئة مركبات وقد يوجد بصورة حرة
- يوجد في التربة بكميات تتراوح ٢٠٠-٣٠٠٠ جزء بالمليون
- يمتص المنغنيز من قبل النبات في صورة (Mn^{+2})، وهناك صور أخرى للمنغنيز مثل (Mn^{+3}) و(Mn^{+4}) ولكن اقل ذوبانية
- في الإنسان ينتج الخلايا الذكرية ويؤثر في نشاط المبايض
- يسبب نقصه في الإنسان إلى مرض انزلاق الأوتار ومرض سوء التغذية الغضروفي
- الزيادات الكبيرة منه تسبب حالة تسمم تصيب المخ
- تركيز المنغنيز في الإنسان البالغ (٧٠ كغم) ١٢-٢٠ ملغم

منغنيز التربة

يوجد المنغنيز في مختلف الصخور الأولية (Primary Rocks) وبصورة خاصة في صخور (المنغنيز الحديدية)، يتحرر المنغنيز من هذه الصخور بوساطة عمليات التجوية مشكلاً عدداً من المعادن الثانوية والبارز منها معدن Pyrolusite $M_n^{IV}O_2$ و Manganite (Mn^2 O(OH)).

أكاسيد المنغنيز والحديد كثيراً ما تتواجد معاً على شكل مجاميع، (Nodules) عقدية وطبقية صلدة من الحديد (Iron Pan). مستويات Mn الكلي قد تختلف بصورة ملحوظة بين الترب وهي بالمدى من ٢٠ إلى ٣٠٠٠ ميكروغرام Mn/غرام.

إن اكثر أجزاء المنغنيز أهمية في التربة هو Mn^{2+} الذي لربما يكون ذائباً في محلول التربة أو مدمصا للطين والدبال، واوكسيدات المنغنيز التي توجد بشكل غير متبلور(Amorphus) أو متبلور (Crystalline). وطبقاً للجهد الريدوكسي السائد فإن Mn قد يوجد بشكل ثنائي أو ثلاثي أو رباعي التكافؤ، وأنه حتى المنغنيز الموجود في Ferromagnesian Phyllosilicates قد يختزل أو يؤكسد دون تغير موقعه في التركيب تحت الظروف غير الهوائية. Mn^{2+} ينتج بشكل رئيس من التنفس الميكروبي الذي يعمل بوصفه واهباً للإلكترونات لمركبات Mn^{+3}وMn^{+4} وبهذا أكاسيد المنغنيز تذوب.

معظم الكائنات الحية التي تختزل Fe^{3+} أيضا تختزل Mn^{4+} . جفاف التربة يؤدي إلى تأثير معاكس الذي يعني أيضا تكوين أكاسيد المنغنيز.

فضلاً عن ظروف الريدوكس فإن درجة تفاعل التربة أيضا ذات تأثير معنوي في اختزال أكاسيد المنغنيز وتحللها مائياً وعند المدى من ٥,٠ إلى ٦,٠ درجة التفاعل فإن معدل الاختزال يقل بعامل من ١٠ إلى ١٠٠. المادة العضوية قد تخدم بوصفها واهباً للإلكترونات مع إفراز الجذور للماليت والستريت، اختزال المنغنيز ينتج عنه H^{+} وطبقاً لظروف التوازن الموضح في المعادلة أعلاه فإن عملية الاختزال تنخفض بزيادة تركيز H^{+}. إن Mn^{2+} هو الشكل المهم من المنغنيز في تغذية النبات وكذلك المنغنيز السهل الاختزال من أكاسيد المنغنيز، والأكاسيد غير المتبلورة اسهل بالاختزال من المتبلورة. وهذه الأشكال Mn^{2+} مع المنغنيز سهل الاختزال متجمعة تسمى بالمنغنيز الحيوي (Active Mn). مستوى المنغنيز في التربة يعتمد على عمليات الأكسدة والاختزال ودرجة التفاعل. اذن كل العوامل التي تؤثر في هاتين العمليتين لها تأثير في جاهزية المنغنيز. في الأتربة الغنية في المادة العضوية وذات درجة تفاعل واطئة (Spodosols)، جزء كبير من Mn يرتبط بالمادة العضوية وبشكل رئيس بصورة متبادلة وبهذا تمثل مستودعاً من المنغنيز الجاهز. رفع درجة تفاعل التربة بوصف عام يؤدي إلى خفض المنغنيز المرتبط عضوياً وتزيد من أشكال المنغنيز غير المتبلورة والمتبلورة. ولذا فإن نقص Mn في النباتات يحصل بشكل رئيسي في الترب ذات درجة التفاعل العالية.

تحت الظروف الغدقة ومثال على ذلك حقول الرز تكون عمليات الاختزال هي السائدة وبهذا تعطي هذه الأتربة مستوى عالياً من المنغنيز الجاهز للامتصاص ربما يصل إلى مستوى السمية. بعد الغمر واختفاء الأوكسجين. معدل المنغنيز الذائب يزداد في الترب الحامضية ذات المحتوى العالي من المنغنيز النشط فإن تركيز المنغنيز قد يصل إلى حد السمية بسهولة، بينما في الترب الكلسية أو الصودية لا يرتفع تركيز المنغنيز بعد الغمر وفي هذه الترب قد يحصل نقص في المنغنيز. تأثير ظروف التربة غير الهوائية (Flooding) وإضافة الجير على جاهزية المنغنيز المحسوبة على أساس محتوى نبات الجت النامي في التربة من المنغنيز موجودة في الجدول (٣٠)، التراكيز العالية جداً من Mn في مادة النبات قد وجدت في معاملة الغمر بدون الجير التي تشير إلى سمية Mn. التركيز العالية من المنغنيز في الترب مما يدل على المنغنيز الجاهز مباشر للنبات. هذه التراكيز العالية من Mn تنخفض بسرعة عندما تصبح التربة ذات تهوية جيدة.

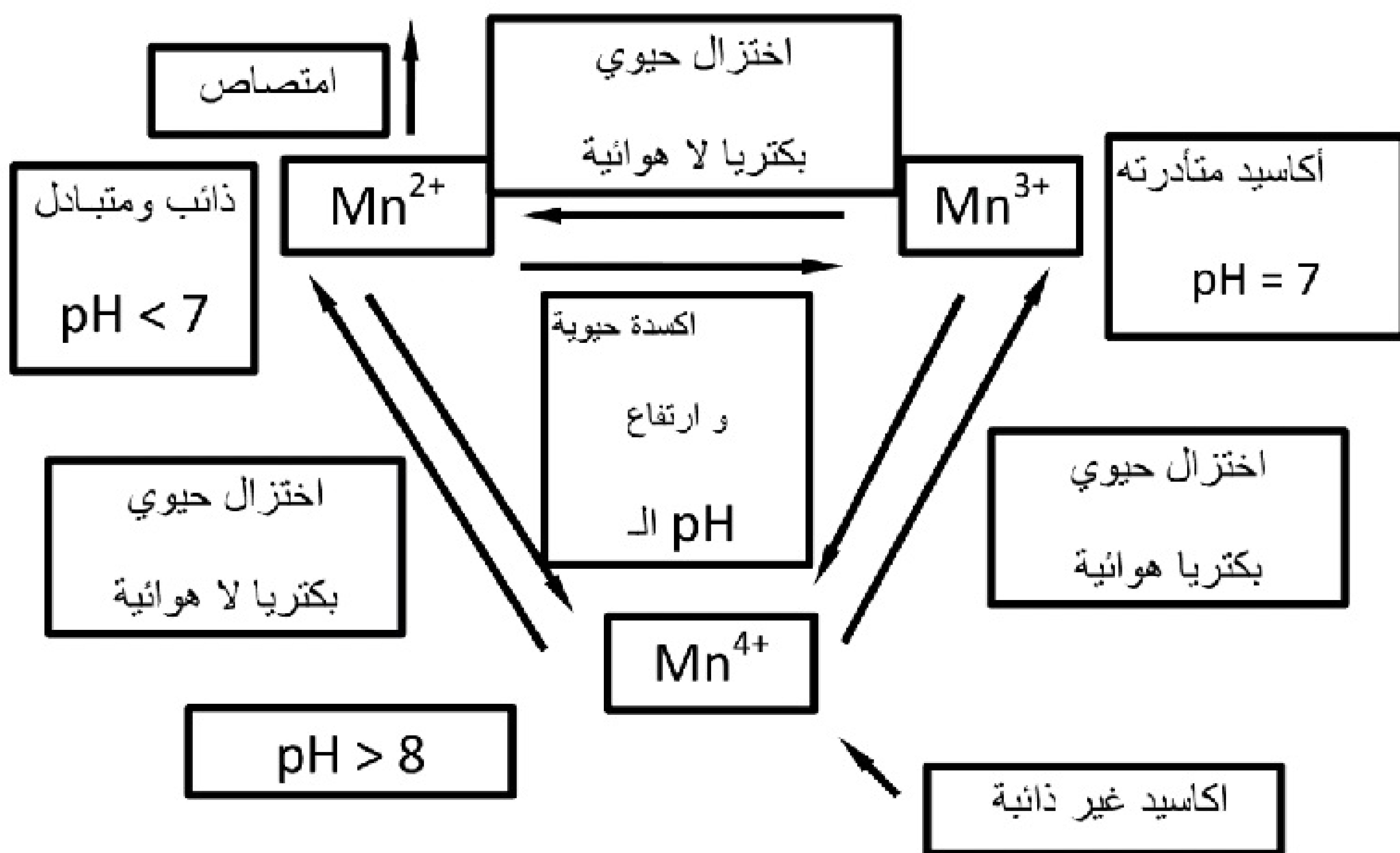
الجدول ٣٠: تأثير إضافة الجير والغمر بالماء في مدة ثلاثة أيام في المادة الجافة ومحتوى الجت من المنغنيز.

المعاملات غم $CaCO_3$/ الأصيص	الغمر بالماء	غم مادة جافة /الأصيص	محتوى Mn مايكرو غرام / غرام مادة جافة
صفر	−	٣,١	٤٢٦
صفر	+	١,٢	٦٠٦٧
٢٠	−	٥,٧	٩٩
٢٠	+	٣,٠	٩٥٤

إن نشاط الكائنات الحية الدقيقة الذي يؤثر في أكسدة المنغنيز هو عملية معتمدة على الرقم الهيدروجيني للتربة والدرجة المثلى للنشاط تكون عند pH7. قتل هذه الكائنات الحية الدقيقة التي تؤكسد المنغنيز ومثال ذلك تعقيم التربة بالبخار يؤدي إلى زيادة جاهزية المنغنيز. الأتربة ذات الرقم الهيدروجيني العالي والحاوية على كمية كبيرة من المادة العضوية المخزونة التي يحتاج إليها للنشاط الميكروبي تكون عرضة بصورة خاصة لنقص المنغنيز. اصبح معلوماً بان إضافة الجير يخفض من جاهزية المنغنيز. اصبح معلوماً بان إضافة الجير يخفض من جاهزية المنغنيز بينما إضافة الأسمدة ذات التأثير الفسيولوجي الحامضي مثل $(NH_4)_2SO_4$ ذات تأثير إيجابي في امتصاص المنغنيز من قبل النبات. المنغنيز الثنائي التكافؤ الذائب في محلول التربة له تأثير مباشر ومهم في تغذية النبات، وهذا المنغنيز (Mn^{2+}) الذائب يكون في حالة توازن مع mn^{2+} المدمص إلى معادن الطين والمادة العضوية. مستوى Mn^{2+} في محلول الأتربة الحامضية والمتعادلة يتراوح من 10^{-3} مول / م^{3} إلى 10^{-1} مول/م^{3}. إلفه Mn^{2+} إلى المواد المغلفة المتكونة تكون واطئة. والمنغنيز الموجود في المركب المعقد يمكن أن يحل محله Zn^{2+} و Ca^{2+} بعملية التبادل. مستوى المنغنيز في محلول التربة يكون أعلى من Zn وCu. تحت الظروف الجافة أملاح المنغنيز في التربة لا تحلل مائيا (Dehydrated). وبذلك تكون أقل جاهزية. الجفاف ربما ينتج كذلك عنه انشطار لأملاح المنغنيز المزدوجة. وفي هذه العملية Mn^{2+} يتحرر. المنغنيز الثنائي التكافؤ يكون إلى حد ما حرك في التربة ويمكن أن يغسل من التربة بسهولة وهذا يحصل بوضوح في الأتربة Podzolic الحامضية (Spodosol).

منغنيز التربة أشكاله وسلوكه

يوجد المنغنيز في كثير من الصخور الأولية ويتحرر منها بوساطة عمليات التجوية، ينتج عن ذلك عدد من المعادن الثانوية من أهمها معدن البايرولوسيت (MnO_3) Pyrolusite والمانغنيت Manganite $MnO(OH)$. إن المنغنيز الكلي في بعض ترب العالم متغاير من كميات قليلة جدا في ترب البدزول (Podzol)، في حين قد تصل إلى حدود ١٠٠٠٠ ملغم كغم$^{-1}$ للترب القلوية أو القاعدية، كميته في الترب العراقية تتراوح بين ٢٠-٦٠٠ ملغم كغم$^{-1}$ تربة. اكثر صور المنغنيز أهمية في التربة هو المنغنيز ثنائي التكافؤ Mn^{+2} الذي يكون ممتزا على سطوح معادن الطين والمادة العضوية، وهو الشكل المهم للمنغنيز في محلول التربة ويكون ميسرا للنبات. الشكل الأخر للمنغنيز هو أكاسيد المنغنيز التي تحوي على المنغنيز بأشكاله الثنائية والثلاثية التكافؤ (Mn^{+3}, Mn^{+2}) وتكون ذات ثباتيه عالية، أما الترب القاعدية التي تفاعلها اعلى من ٨ فيزداد فيها تركيز المنغنيز الرباعي التكافؤ (Mn^{+4}) وهي أكاسيد ثابتة. هذه الأشكال ليست منفصلة عن بعضها البعض بل هي دائمة التحول من شكل إلى اخرب اعتمادا على عمليات الأكسدة والاختزال التي ترتبط بدرجة حموضة التربة والمحتوى من المادة العضوية ونشاط الكائنات الحية الدقيقة والمحتوى الرطوبي للتربة.



المنغنيز الميسر

من دورة المنغنيز في التربة نلاحظ أن الصورة الثنائية من المنغنيز هي الصورة الأكثر أهمية وذلك لعلاقتها المباشرة بتغذية النبات. وعلى ذلك فإن حالة التوازن بين الصور الثلاثة تحدد الكمية النشطة والذائبة في محلول التربة. ويوجد عدة عوامل تؤثر على كمية المنغنيز الميسرة (الذائبة) للنبات يمكن إيجازها كما يلي:

١. درجة الـ pH

ارتفاع pH التربة يؤدى إلى خفض الكمية الميسرة من المنغنيز إلى الدرجة التي لا تسمح بإمداد النباتات النامية في هذه الترب بحاجتها من هذا العنصر حيث يتأكسد المزيد من المنغنيز الثنائي تحت هذه الظروف. و يتضح ذلك جلياً في الأراضي الجيرية حيث إن محتوى هذه الترب من المنغنيز الكلى كبير ولكن الكمية الميسرة منه قليلة جداً وذلك يرجع إلى ارتفاع pH هذه الأراضي. وعلى ذلك فمن المفيد استخدام الأسمدة ذات التأثير الحامضي والتي تزيد من المنغنيز الميسر نتيجة لخفضها pH التربة. كذلك هناك تأثير آخر لـ pH التربة، حيث يؤثر على نشاط الكائنات الدقيقة والتي لها دور هام في عمليتي الأكسدة والاختزال للمنغنيز حيث وجد أن هذه الكائنات تقوم بعملية الأكسدة عند قيم من pH حول رقم ٧ ويتحول Mn^{2+} إلى صور Mn^{3+}, Mn^{4+} غير الميسرة للنبات. وعكس ذلك في الترب الحامضية حيث يزداد تيسر المنغنيز إلى الدرجة التي قد يصبح معها تركيزه في المحلول الترب سأما مما يسبب مشاكل للنباتات النامية بتلك الترب.

٢. المادة العضوية

كما هو معروف تعمل المادة العضوية على خفض الـ pH الترب التي تضاف إليها وبالتالي يكون من المتوقع أن يكون الوسط الحامضي هذا ملائم لحدوث عملية الاختزال وبالتالي تيسر المنغنيز للنبات، وبجانب هذا ومع تحلل المادة العضوية تنطلق بعض الأحماض العضوية ذات الوزن الجزيئي المنخفض والتي تعمل كمركب مخلبي يرتبط مع المنغنيز ويجعله في صورة صالحة للنبات. قد تعاني النباتات النامية في الأراضي القاعدية وذات المحتوى المرتفع من المادة العضوية من نقص المنغنيز وذلك لأن ارتفاع pH التربة يساعد على تكوين معقدات ثابتة للمنجنيز مع المادة العضوية مما يقلل من صلاحية هذا العنصر.

٣. قوام التربة

عموماً الترب الرملية يكون محتواها الكلي من المنغنيز قليل، وعلى ذلك يكون من المتوقع أن يكون المنغنيز الميسر بهذه الترب قليل.

00:17:03

٤. محتوى التربة من الرطوبة

نظراً لأن المنغنيز من العناصر متعددة التكافؤ مثله مثل الحديد، فنجد أن ظروف التهوية تلعب دوراً أساسياً في تحديد الكمية الصالحة من هذا العنصر (Mn^{2+}). وعلى ذلك نجد أنه تحت ظروف التهوية السيئة ونقص الأكسجين تزداد كمية Mn^{2+} نتيجة لحدوث عملية الاختزال للصور العالية التكافؤ من المنغنيز، وتلعب المادة العضوية سهلة التحلل دور مهم في زيادة هذه الكمية وذلك لأن مع تحللها تنطلق الطاقة التي تستخدمها الكائنات الدقيقة المسئولة عن عملية الاختزال. وعلى ذلك فالنباتات المائية ومن أمثلتها الرز قد لا تعاني من نقص المنغنيز لزيادة ذوبانه تحت هذه الظروف. كما أنه في بعض المناطق يحدث في وقتٍ واحد زيادة في كلٍ من الكمية الميسرة نتيجة لظروف الاختزال، والكمية المفقودة من هذه الصورة نتيجة لعملية الغسيل، كما في المناطق الرطبة الممطرة.

٥. تأثير الأيونات المغذية الأخرى

وجد أن هناك بعض الأيونات التي تؤثر سلبياً على المنغنيز الممتص بواسطة النبات أي هناك ما يعرف باسم ظاهرة التضاد Antagonism بين المنغنيز وهذه الأيونات. ومن الأمثلة الواضحة في هذا المجال التضاد مع أيون الحديد، حيث إن المستوى المرتفع من الحديد الميسر بالتربة يؤدى إلى ظهور أعراض نقص المنغنيز على النبات. ولقد أثبتت الدراسات بأن أقصى درجة لنمو النبات تحدث عندما تكون نسبة الحديد: المنغنيز Fe: Mn ratio في وسط النمو تنحصر بين ١.٥ –٢.٥. ففي حالة ارتفاع النسبة عن ٢.٥ تؤدى إلى ظهور أعراض نقص المنغنيز على النبات، بينما بانخفاض هذه النسبة عن ١.٥ تظهر أعراض السمية لهذا العنصر. ومثل الحديد، في هذه المستويات المرتفعة من النحاس والخارصين حيث يعرقل كل منهما امتصاص المنغنيز.

٦. العوامل المناخية

تظهر أعراض النقص لعنصر المنغنيز على النباتات النامية في المناطق ذات المناخ البارد، وأيضا في المناخ الجاف قد تعاني نقصاً في امتصاص المنغنيز. وعلى العكس من ذلك فإن زيادة شدة الضوء تزيد من المنغنيز الممتص.

جاهزية المنغنيز والعوامل المؤثرة فيها

إن كمية المنغنيز الجاهز الذي يحتاجه النبات قليلة جدا، ومن ثم فان الكميات العالية منه تعد سامة. تزداد جاهزية المنغنيز بانخفاض الأس الهيدروجيني. إن الأس الهيدروجيني للتربة في حدود ٦–٧ تمنع تراكم وتجمع

المنغنيز الجاهز لحد السمية. جاهزية المنغنيز تكون عالية في الترب الحامضية وذلك بسبب الذوبان العالي لمركبات المنغنيز تحت الظروف التي تكون فيها درجة حموضة التربة واطئة. المنغنيز الذائب يزداد ١٠٠ مرة لكل وحدة انخفاض في الـpH. الأس الهيدروجيني الواطئ وارتفاع نسبة المادة العضوية في التربة تشجع اختزال المنغنيز وتزيد من جاهزيته. جذور النباتات تحرر مواد عضوية تعمل على خفض الأس الهيدروجيني في منطقة الرايزوسفير وتكون مخلبيات مع هذه العناصر وتزيد من جاهزيتها في التربة ومن ثم زيادة امتصاصها بوساطة جذور النباتات.

إن محتوى التربة من المادة العضوية يؤثر في كمية المنغنيز الجاهز، إذ تعمل المادة العضوية على زيادة المنغنيز عن طريق تكوين مركبات عضوية معدنية معقدة أو تكوين مواد خلب تقوم بخلب المنغنيز من المركبات الأخرى أو من محلول التربة، كذلك تساعد على اختزال المنغنيز وتحوله إلى منغنيز ثنائي Mn^{+2}، إذ يتحرر بسهولة عند تغير ظروف الرطوبة في التربة. إن تجمع المنغنيز على سطح التربة ذو منشأ بيولوجي، إذ تقوم النباتات ذات الجذور العميقة بسحب المنغنيز ومن ثم تحرره في أثناء عملية التحلل لمخلفاتها. ارتفاع السعة التبادلية للأيونات الموجبة للمادة العضوية واحتوائها على مجاميع الكاربوكسيل والفينول الفعالة تعمل على تقييد أو خلب العناصر الصغرى، فضلا عن الأحماض العضوية الناتجة من تحللها والتي تساعد في عمليات التجوية.

امتزاز المنغنيز من قبل مفصولات التربة يكون للطين > الغرين> الرمل. هنالك علاقة موجبة بين كمية الطين والمنغنيز الكلي في التربة. كمية المنغنيز الكلي تتناسب طرديا مع نسبة الطين في التربة، إذ عد الطين كمخزن للعناصر، المنغنيز الكلي يعود إلى محتوى التربة من الطين والغرين. تحت الظروف الغدقة تكون عمليات الاختزال هي السائدة، وبهذا تعطي هذه الترب مستوى عاليا من المنغنيز الجاهز للامتصاص ربما يصل إلى حد السمية. تحولات المنغنيز وأكسدته في التربة تسيطر عليها المتغيرات في ($pH+P_e$) وان المنغنيز هو احد اكثر أيونات العناصر الصغرى التي تتأثر جاهزيتها بعمليات الأكسدة والاختزال. انخفاض قيمة ($pH+P_e$) يؤدي إلى زيادة تركيز أيونات المنغنيز في محلول التربة نتيجة عمليات الاختزال. انخفاض جاهزية المنغنيز في الترب ذات المحتوى العالي من الكلس. أيونات المنغنيز (Mn^{+2}) تمتز بقوة على اسطح كربونات الكالسيوم وبكمية اكبر من امتزازها على اسطح كربونات المغنيسيوم، وتزداد كفاءة الامتزاز كلما صغر حجم الحبيبات الكلسية. ارتفاع الأس الهيدروجيني في الترب الكلسية يؤدي إلى امتزاز المنغنيز على سطوح معادن الكربونات. يمكن للمنغنيز يدخل ضمن الشبكة البلورية للكالسايت. المنغنيز المرتبط

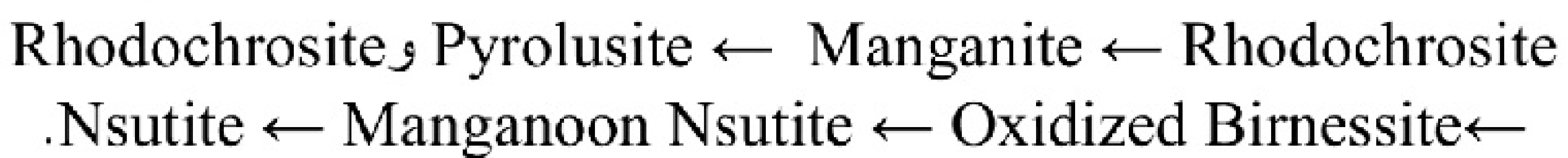
بالكلس يشكل نسبة ١٨.٨% من المنغنيز الكلي عند دراسته بعض ترب أربيل في شمال العراق. سلوك المنغنيز المشابه لسلوكيات الحديد والنحاس والخارصين يخلق حالة من التنافس على مواقع الامتزاز ولاسيما اذا كانت تراكيز هذه العناصر في محلول التربة اعلى من تركيز المنغنيز، مما يقلل من جاهزيته. إلفه Mn^{+2} إلى المواد المغلفة مثل Mn-EDTA يكون قليلا، ومن ثم فان لهذه العناصر (Zn, Cu, Fe) المقدرة على إزاحة المنغنيز من مواقع الامتزاز ومن ثم تعرضه لعملية الأكسدة أو الحجز، مما يقلل من جاهزيته. إن إضافة الأسمدة النيتروجينية والفوسفاتية المولدة للحموضة تؤدي إلى زيادة جاهزية المنغنيز في الترب الكلسية.

المنغنيز في الصخور والترسبات

يتواجد المنغنيز في معظم التكوينات الجيولوجية ويدخل في تكوين معادن مختلفة وعلى مدى واسع من الظروف الكيميائية والحرارية، ويتواجد المنغنيز غالباً في الطبيعة على ثلاث حالات تأكسد هي الثنائية والثلاثية والرباعية وهو بذلك له القابلية على الدخول في العديد من الأطوار والتراكيب البلورية. تتفاوت تراكيز المنغنيز في الصخور النارية اعتماداً على التركيب المعدني للصخور حيث تصل تراكيزه إلى اعلى مستوياتها في الصخور النارية القاعدية مثل البازلت وتقل قليلاً في الصخور النارية فوق القاعدية بينما تنخفض تراكيز المنغنيز في الصخور الحامضية. ويعد المنغنيز من العناصر الثانوية ضمن تركيب الصخور النارية، هذه الصخور تحتوي على عناصر أساسية وأخرى ثانوية، أما الأساسية فتكون وفيرة في الصهير (مثل السليكون والألمنيوم والحديد) وتشكل بذاتها معادن مستقلة بينما العناصر الثانوية (بضمنها المنغنيز) فان تراكيزها لا تكفي لتكوين معادن مستقلة، ونظراً لتقارب أنصاف أقطار المنغنيز مع أيونات العناصر الرئيسية فأنها تدخل في تركيب معادنها بهيئة إحلال. هناك علاقة ارتباط قوية بين المنغنيز والحديد حيث تتراوح نسبة (Mn/Fe) بين (٠.٠١٥-٠.٠٢) والتي تشكل المعادن الفيرو منغنيزية. أما الصخور المتحولة فتحتوي على مديات مقاربة لتراكيز المنغنيز في الصخور النارية، وبصورة عامة يتحرر المنغنيز من الصخور النارية والمتحولة عن طريق التداخل بين الماء السطحي والماء الأرضي.

أما توزيع المنغنيز في الصخور الرسوبية فيعتمد على تركيبها المعدني وعلى خواص العنصر المتمثلة بنصف القطر الأيوني والشحنة وجهد الأكسدة والاختزال (Eh-pH) ولكون المنغنيز يتميز بعدة حالات تكافؤ فهو بذلك له القابلية على الدخول في العديد من الأطوار والتراكيب، فضلاً عن قابليته على الامتزاز على اسطح المعادن والمواد العضوية إضافة إلى وجوده في العقد (Nodules). أما في التربة فان

تركيز وتوزيع المنغنيز يعتمد على عاملين أساسين أولهما وفرة العنصر في مادة الأصل وثانيهما عوامل وعمليات تكوين التربة. وتلعب أكاسيد المنغنيز دوراً مساعداً في تحلل المادة العضوية مما يحسن خواص التربة، وبذلك تصبح حركة المنغنيز الذائب أكثر تعقيداً مع وجود المادة العضوية المتحللة من خلال عملية خلب المنغنيز ثم ترسيبه وهذه العملية يتحكم بها وجود الأوكسجين والدالة الحامضية للتربة pH، وتعتبر البيئات اللاهوائية مصدر هام للمنغنيز المذاب حيث تختزل أكاسيد المنغنيز كما في بعض الترب الغدقة والترسبات النهرية وترسبات البحيرات. انه في المحاليل ذات جهد أكسدة واختزال(Eh–pH) واطئ ودالة حامضية واطئة فان كل من المنغنيز والحديد يستقران بشكل أيونات ثنائية الشحنة ويكونان أطوارا مع الكربونات والكبريتيدات والسيليكات وقد تتأكسد هذه الأطوار تحت الظروف السطحية لتعطي أكاسيد غير قابلة للذوبان. إن استخدام الأنواع المختلفة من أكاسيد المنغنيز كدالة وراثية تعتبر ذات أهمية كبيرة في دراسة نشوء التربة، فقد تتكون سلسلة من أكاسيد المنغنيز بصورة متزامنة مع تكوين ترسبات مختلفة وفي بيئات متباينة، لقد لوحظ وجود سلسلة تعاقب الأكسدة لمعادن المنغنيز، كما يلي:


Rhodochrosite و Pyrolusite ← Manganite ← Rhodochrosite
←Oxidized Birnessite ← Manganoon Nsutite ← Nsutite.

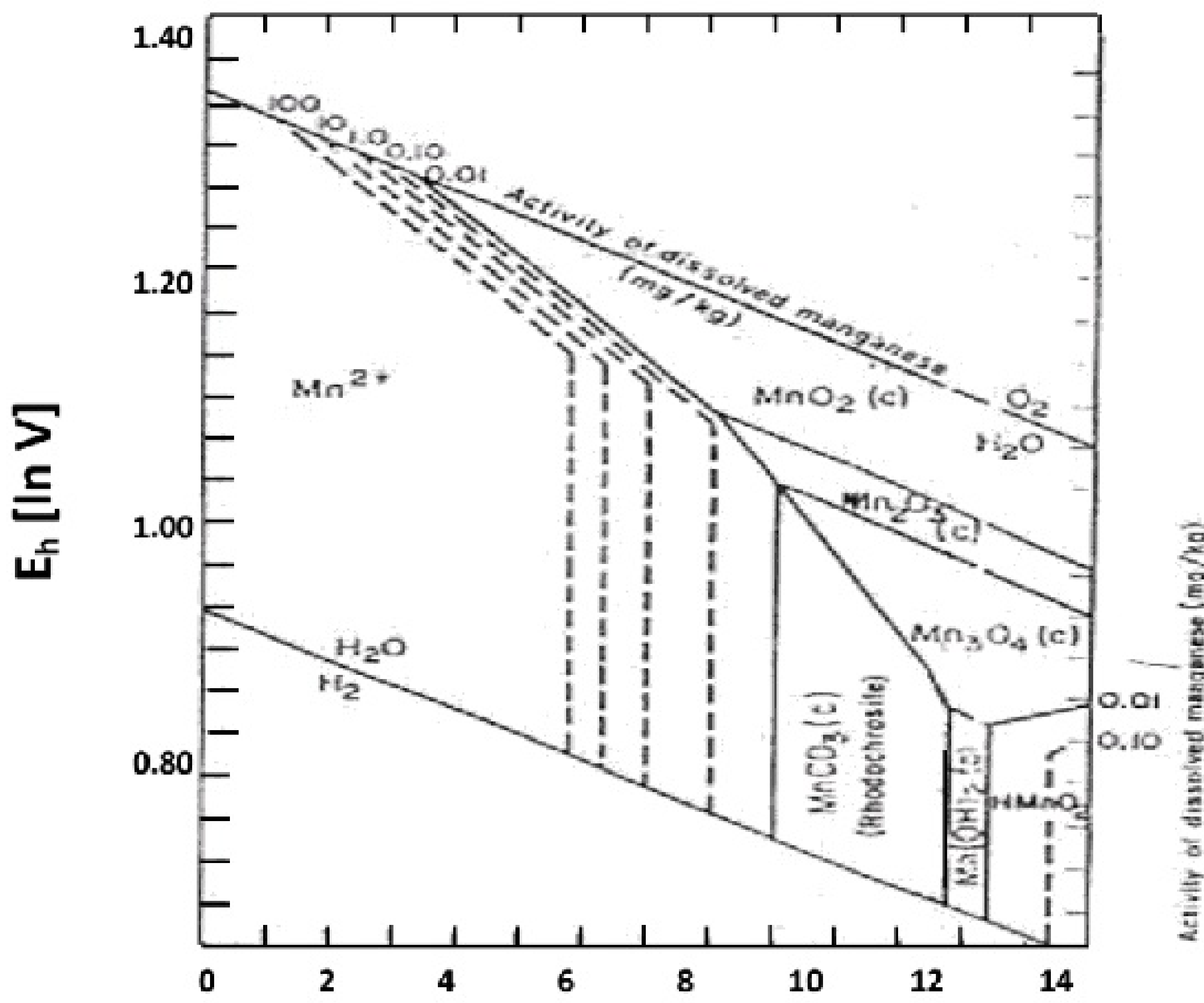
معدن Nsutite المتكون طبيعياً يتحول بسهولة إلى Pyrolusite في غياب الأيونات الغريبة وأن المعادن المتكونة أولا سوف تتبلور مجدداً إلى معدن Nsutite ثم إلى معدن Pyrolusite الذي يكون ثابتاً من الناحية الثرموديناميكية. كما ان وجود بعض الكايتونات المناسبة مثل الليثيوم يؤدي إلى تكوين Lithiophorite، أما عند توفر البوتاسيوم فانه يساعد في تكوين Cryptomelame.

المنغنيز في محلول التربة

إن الصورة الثنائية التأكسد للمنغنيز Mn^{2+} هي الصورة الذائبة في الماء والتي يمكن امتصاصها من قبل النبات، كما أن عملية الانتشار هي العملية الرئيسية التي بواسطتها يمكن لأيونات المنغنيز تكون جاهزة للنبات، إضافة إلى بعض العمليات الأخرى التي تسهم في زيادة امتصاص المنغنيز مثل الجريان الكتلي واعتراض الجذور والخلب بواسطة الأحماض العضوية مثل الفولفيك والهيوميك الناتجة عن تفسخ المادة العضوية في التربة. ونظراً لكون المنغنيز من العناصر الانتقالية وعدد تكافؤه يتغير عند اشتراكه في تفاعلات الأكسدة والاختزال، فقد تم استخدام معيار جهد الأكسدة والاختزال (Eh–pH) لتحديد كمية الأيونات في محلول التربة، ولقد وجد انه عندما يكون الضغط الجوي H_2 (g) في حالة توازن مع محلول مائي يساوي واحد فان قيمة (Eh – pH) تساوي صفر، بينما لوحظ انه في النظام المائي مع ضغط

جوي واحد من O_2 (g) فان قيمة (Eh − pH) تساوي (٢٠.٨) وفي معظم الترب جيدة التهوية فان قيمة جهد الأكسدة والاختزال (Eh − pH) تتراوح بين (٦-١٢) بينما تكون قيمته في الترب المغمورة المستخدمة في زراعة الرز بحدود (٤٠).

إن اكثر أنواع مركبات المنغنيز شيوعاً في محاليل الترب المتعادلة هو المنغنيز الثنائي Mn^{2+}، أما في الترب المائلة للقاعدية (pH ٨) فان اهم مركبات المنغنيز المتكون هي $MnOH^{+}$، $MnHCO_3^{+}$، بينما في الترب الحامضية وترب مزارع الرز المغمورة فان ذوبانية المنغنيز تزداد تؤدي إلى رفع مستوى السمية. إن إضافة الكلس إلى هذه الترب سوف يؤدي إلى رفع قيم الدالة الحامضية (pH) وبالتالي التقليل من سمية المنغنيز. إن اتزان إذابة المنغنيز لا يحدث بسرعة مقارنة مع اتزان إذابة الحديد وعلى الرغم من ذلك فان ذوبانية المنغنيز يمكن توضيحها بالشكل () فعندما تكون قيمة الدالة الحامضية في المياه المشبعة بالأوكسجين مقاربة (pH ٧) فان محتوى المنغنيز يتراوح بين (١-١٠) ملغم. لتر$^{-1}$ وأن تراكيز المنغنيز في حدود (١) ملغم. لتر$^{-1}$ ستترسب بسرعة عند توفر الأوكسجين وقيم pH عالية حيث ان عملية الأكسدة تتسارع مع ارتفاع قيم الدالة الحامضية.



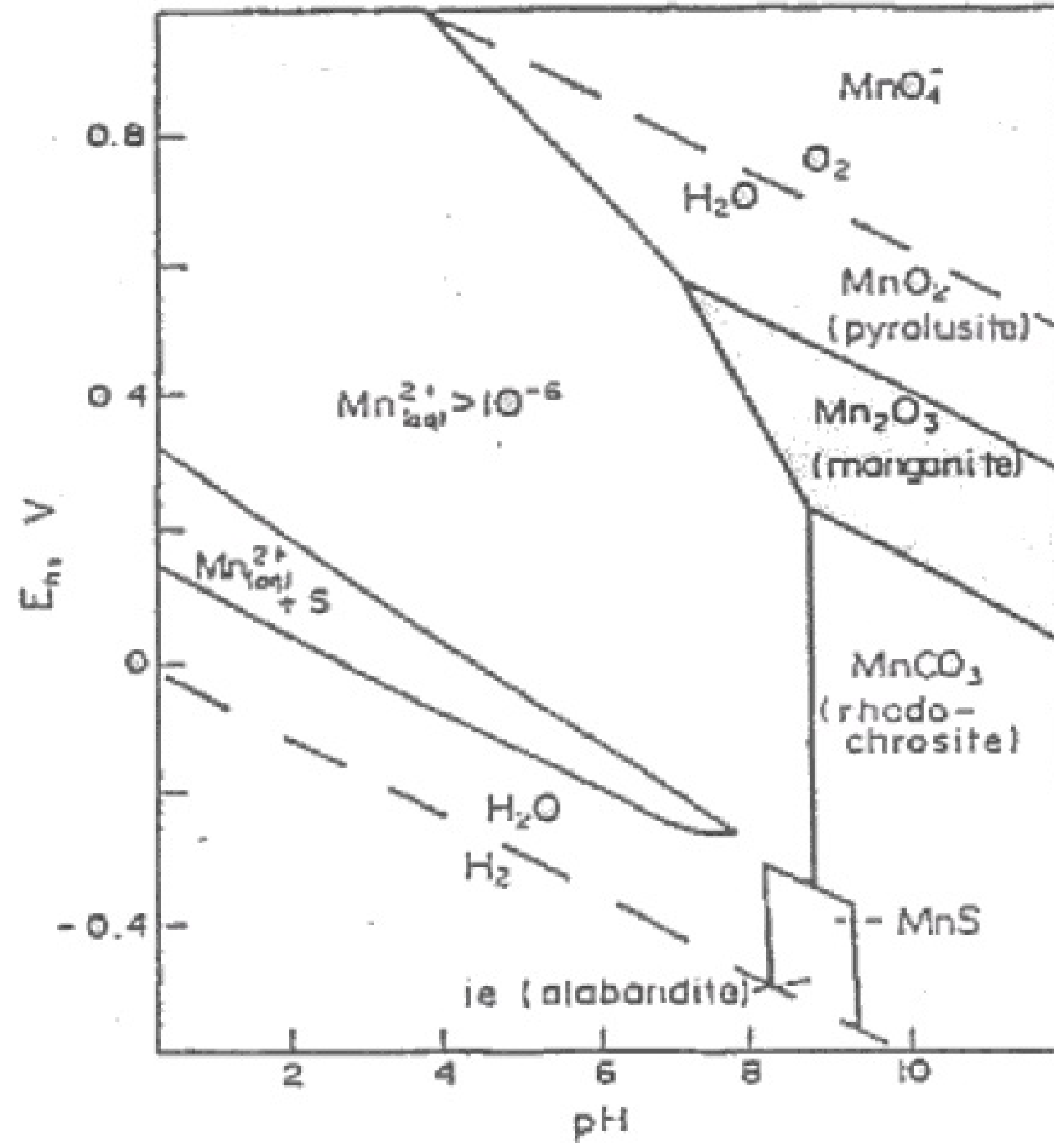
مخطط مجال ذوبانية المنغنيز عند درجات حرارة وضغط قياسية

العلاقة بين المنغنيز والحديد أثناء العمليات الجيولوجية من خلال امتزاجهما في الأطوار المعدنية وبالتالي ميلهما للتصاحب في البيئات المتشابهة لأسباب تتعلق بخواص هذين العنصرين منها (الشحنة، نصف القطر الأيوني، السالبية الكهربائية... الخ). التدقيق في توزيع المنغنيز في الأجزاء المختلفة من التربة يوضح سلوك هذا العنصر في الدورات الجيولوجية وارتباطه بالحديد والجدول (٣١) يوضح المقارنة بين المنغنيز والحديد في بعض الصخور والمياه.

الجدول ٣١: نسب المنغنيز/ الحديد في بعض الصخور والمياه

الصخور والمياه	المنغنيز / الحديد
Shale	٠.٠١٥
Sandstone	٠.٠٢٤
Limeston	٠.٠٤٤
River water	٠.٢١
Sea water	٠.٣٥

المنغنيز والحديد يمتلكان بعض الحركة في عمود التربة ولكن الحديد دائماً يمكن تثبيته في عمود التربة بينما المنغنيز يمكن أو لا يمكن تثبيته في عمود التربة، ومن السهولة أكسدة الحديد من حديدوز Fe^{2+} إلى حديديك Fe^{3-} اذ يحتاج ذلك إلى انخفاض بسيط في قيم الدالة الحامضية وجهد الأكسدة والاختزال (Eh-pH)، في حين لكي يتأكسد المنغنيز الثنائي Mn^{2+} إلى المنغنيز الرباعي Mn^{4+} يحتاج إلى رفع قيمة الدالة الحامضية وجهد الأكسدة والاختزال بدرجة عالية كما في الشكل التالي



مخطط جهد الأكسدة والاختزال لمجال استقراريه المنغنيز

ولكون مجال استقراريه المنغنيز الثنائي Mn^{2+} اكبر من الحديد الثنائي Fe^{2+} وان الذائب من المنغنيز الثنائي اكبر من الذائب من الحديد الثنائي وبانخفاض جهد الأكسدة والاختزال (Eh) وزيادة الدالة الحامضية فان الحديد يكون البايرايت (في ظروف اختزالية وبيئات قاعدية). أما بالنسبة للمنغنيز الثنائي عند توفر نفس الظروف أعلاه وتوفر أيون الكربونات CO_3^{2-} يتكون معدن Rhodochrosite ($MnCO_3$) ولا يكون طور مستقل من كبريتيد المنغنيز MnS_2 ما لم يكن هنالك وفرة من أيونات الكبريتات وقلة من أيونات الكربونات. هذه الاختلافات في سلوك الحديد والمنغنيز الناتجة عن اختلاف الظروف البيئية وجهد الأكسدة والاختزال هما المسؤولان عن انعزال هذين العنصرين عن بعضهما البعض.

وفيما يأتي أوجه التشابه في سلوك المنغنيز والحديد في الترب والنباتات

١ – المنغنيز والحديد كلاهما عناصر انتقالية لهما اكثر من حالة تأكسد واحدة.

٢ – المنغنيز والحديد كلاهما ذائب في صورة التكافؤ الثنائي (Mn^{2+}، Fe^{2+}).

٣ – المنغنيز والحديد كلاهما يوجد على صورة أكاسيد وهيدروكسيدات وأوكسي هيدروكسيدات.

٤ – المنغنيز والحديد كلاهما يمتصان من قبل النباتات بكميات قليلة.

٥ – تحت الظروف اللاهوائية خاصة في الترب الحامضية فان المنغنيز والحديد كلاهما يصل إلى حد السمية.

٦- في الترب الحامضية فان المنغنيز والحديد كلاهما يقوم بتثبيت الفوسفات.

٧- المنغنيز والحديد الثنائي كلاهما متحركان في التربة بينما في النباتات فهما غير متحركان.

٨- المنغنيز والحديد كلاهما يساهم في عملية التركيب الضوئي.

٩- المنغنيز والحديد كلاهما يمكن أن يعوض عن عناصر غذائية أخرى، فالمنغنيز يعوض عن المغنيسيوم في عملية التحول إلى الفوسفات العضوي ومجموعة تفاعلات التحول، بينما الحديد بإمكانه أن يعوض جزئياً عن المولبيدنم كعامل مساعد ضروري لا داء عمل الأنزيمات التي تقوم باختزال النترات.

١٠- المنغنيز والحديد كلاهما يضفي الوان خاصة على الترب وأنهما الأساس في إعطاء تسميات مثل Red earths، Krasnozoms، Terrarosa، Yellow earths

مصادر المنغنيز في التربة

١. الأكاسيد البسيطة مثل معدن Pyrolusite MnO_2

٢. الأكاسيد المعقدة مثل معدن Braunite $(Mn_2Si)_2O_3$

٣. الكربونات مثل معدن Rhodochrosite $MnCO_3$

٤. السيليكات مثل معدن Rhodonite $MnSiO_3$

العوامل المؤثرة على جاهزية المنغنيز في التربة

١. مادة الأصل: كلما زاد المنغنيز في مادة الأصل زاد المنغنيز في التربة (علاقة طردية)

٢. درجة تفاعل التربة (PH) درجة ٧ هي درجة التفاعل التي عندها يتوفر منغنيز التربة، عند الـ ٥ فما دون والـ ٨ وأعلى تقل الجاهزية وتكاد تنعدم

٣. العناصر الصغرى الأخرى، يحصل تنافس للمنغنيز عندما تكون العناصر (Fe^{+2}, Zn^{+2} و Cu^{+2}) بكميات عالية

٤. في الترب العضوية تتكون معقدات مع المنغنيز، فتقل الجاهزية

٥. الترب الجافة (لا يحدث تحلل للمنغنيز) والترب ذات الصرف الرديء (يفقد المنغنيز) ودرجات الحرارة المنخفضة (يقل تحرر المنغنيز)، تعاني هذه الترب من المنغنيز الجاهز.

المحتوى الطيني له دور واضح على المحتوى الجاهز للمنغنيز من خلال كونه الخزين الامتدادي للمنغنيز. وقد هناك علاقة ارتباط موجبة بين المحتوى الطيني والمحتوى الجاهز للمنغنيز الذي تأكد من خلال الارتباط الموجب مع نسبة الطين والغرين هذين المفصولين غنيان بالعناصر الصغرى ومنها المنغنيز. أما المادة العضوية

00:17:54

فإنها تنتج مواد مخلبية منها الأحماض الاليفاتية البسيطة والفينولات والأحماض الفينولية والهيومية والفولفية. هذه المواد المخلبية تعمل على زيادة جاهزية المنغنيز للنبات وتلعب المادة العضوية دوراً هاما في تغذية النبات في الترب الكلسية، الارتباط الكبير للمنغنيز والحديد مع المادة العضوية حيث تدل العلاقة المعنوية الموجبة بين المنغنيز الكلي والحديد الكلي وبين المادة العضوية إلى تكوين مركبات عضوية معقدة تزيد من تركيز هذين العنصرين في التربة عن طريق الامتزاز السطحي وقدرته على زيادة النشاط الحيوي في التربة. أما كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ فان تأثيرها سلبي على المحتوى الجاهز للمنغنيز في الترب من خلال قدرتها على امتزاز العناصر الثقيلة بقوة وكذلك التقليل من قابلية غرويات التربة لامتزاز المنغنيز مما يجعله غير جاهز للنبات. فضلاً عن تواجد كربونات الكالسيوم في وسط قاعدي يميل إلى ترسيب المنغنيز على هيئة هيدروكسيدات أو كربونات. هناك دوراً فعالاً سالباً لكربونات الكالسيوم النشطة في تقليل الجاهزية، ومن ناحية أخرى تلعب قيمة الدالة الحامضية pH في التربة دوراً هاما في جاهزية المنغنيز، فعند قيم pH المرتفعة فان زيادة أيونات الهيدروكسيل تحدد من ذوبانية المنغنيز وتحدد من جاهزيته للنبات، هناك توافقاً سالباً بين ارتفاع قيمة الـ pH وانخفاض جاهزية المنغنيز. دور الـ pH في الترب القاعدية ملازم لدور كربونات الكالسيوم حيث يعملان سوية على خفض المحتوى الجاهز من المنغنيز، وأخيرا فان طبيعة النشاط البيولوجي يؤثر على توزيع المنغنيز في مقد التربة حيث أن محتوى الطبقات السطحية من المنغنيز والحديد هو اعلى مما احتوته الطبقات تحت السطحية وهذا يعود إلى النشاط الجيولوجي.

المنغنيز في تغذية النبات

١. عامل مساعد في تفاعل الضوء في عملية البناء الضوئي .

٢. يدخل في تركيب الأنزيمات ويعمل كمرافق إنزيمي لإتمام عمليات الأكسدة والاختزال .

٣. يساعد في عملية انقسام البلاستيدات الخضراء .

٤. يحتاج النبات بكميات قليلة؛ لأن جميع مركبات هذا العنصر ذات سمية ملحوظة للنبات إلا إذا وجدت بتركيزات قليلة جداً. وعادةً يوجد المنغنيز بكميات وفيرة داخل الأجزاء النشطة فسيولوجياً من النبات وخاصة الأوراق، والمنغنيز من العناصر غير المتحركة داخل النبات، وبالتالي إعادة توزيع هذا العنصر بين الأجزاء المختلفة داخل النبات قليلة جداً. يساهم المنغنيز في العديد من العمليات الحيوية داخل النبات والتي تؤدى إلى زيادة الإنتاج وتُحسن من جودته في كثير من المحاصيل الزراعية.

٥. يقوم بدور العامل المساعد الأساسي أو الثانوي في حياة النبات،

٦. يلعب دوراً مباشراً في عمليات التأكسد والاختزال وخاصة بالنسبة لمركبات الحديد حيث يُمثل المنغنيز أحد العوامل المسببة لظهور الاصفرار الناتج عن نقص الحديد، ويرجع ذلك لتحول الحديدوز إلى حديديك وهذه الصورة تُعتبر خاملة من الوجهة الفسيولوجية

٧. ينشط المنغنيز كثير من الأنزيمات مثل الديهيدروجينيز والكربوكسيليز، وقد ينشط بعض إنزيمات الهيدروجينيز والكربوكسيليز والتي ينشطها المغنيسيوم ولكنه لا يقوم بنفس العمل بالنسبة للإنزيمات التي ينشطها بعض الكاتيونات الأخرى.

٨. للمنغنيز علاقة بتكوين الكلوروفيل، حيث تتأثر البلاستيدات الخضراء بنقص المنغنيز.

٩. وجد أن المنغنيز ضروري لانشطار جزيء الماء أثناء عملية التمثيل الضوئي (Hill's reaction) حيث يقوم بأكسدة جزيء الماء في وجود الضوء والكلوروفيل إلى أيونات الهيدروجين والأوكسجين ثم تُختزل أيونات المنغنيز باستقبالها لأيونات الهيدروجين.

١٠. يلعب المنغنيز دوراً هاما في تمثيل النيتروجين داخل النبات.

الامتصاص والانتقال

معدل امتصاص المنغنيز يكون مختلفاً بصورة واضحة بين أنواع النباتات، معدل امتصاص المنغنيز يكون أقل من امتصاص الكاتيونات الثنائية الأخرى مثل Mg^{2+}وCa^{2+}. من المحتمل Phytasiderophores لا تشترك في استثمار المعادن الحاملة للمنغنيز من أجل المنغنيز. إن إلفه Siderophores للمنغنيز ضعيفة. هناك أدلة كثيرة على أن امتصاص Mn يحصل على Mn^{2+} ومن المحتمل بوساطة الانتشار الميسر (Diffusion Facilitated) عبر البلازما لما. ويشارك المنغنيز ككاتيون ثنائي التكافؤ في التزاحم الكاتيوني مثل غيره من الكاتيونات الثنائية التكافؤ. المغنيسيوم بصورة خاصة يقلل من امتصاص المنغنيز وكذلك الجير إذ ليس فقط بالتأثير المباشر عن طريق الكالسيوم في محلول التربة بل أيضا كنتيجة لزيادة الرقم الهيدروجيني لها.

المنغنيز في سلوكه الكيماوي له صفات مشابهة للكاتيونات القاعدية مثل Ca^{2+} وMg^{2+} والمعادن الثقيلة مثل Zn وFe ولهذا لا يكون مدهشاً بأن هذه الأيونات المختلفة تؤثر في امتصاص المنغنيز في النبات وانتقاله بالرغم من أن ميكانيكية هذا التأثير تحتاج إلى توضيح. وهذا صحيح بصورة خاصة للتأثير التثبيطي للمنغنيز في امتصاص Fe. في هذا الموضوع من المثير بأن Fe^{2+} يؤكسد من قبل Mn^{4+} ليس أنزيما، التي قد تؤثر في امتصاص Fe هذا العنصر يمتص بصورة Fe^{2+} . أن النباتات المجهزة بالنتروجين

على شكل أمونيوم (NH_4-N) امتصت كمية قليلة من Mn^{2+} مقارنة بالنباتات المجهزة بالنتروجين على شكل نترات (NO_3-N). تحسب على أساس تأثير مصادر النتروجين، الأمونيوم يؤدي إلى حامضية الوسط الغذائي ويرتبط ذلك بإعادة تدفق (reflux) H^+ إلى داخل السايتوسول، وبهذا يثبط استقطاب البلازما لما الذي هو القوة المسيرة لامتصاص Mn^{2+}. المنغنيز نسبياً لا يكون سهل الحركة في النبات. ولكن إلى وقتنا هذا ليس واضحاً فيما اذا كان المنغنيز قادراً على الانتقال في خلايا اللحاء إلى أي نقطة أخرى في النبات. لقد وجد بان Mn يشابه الكالسيوم الذي يحرك مرة ثانية (Remobilized) من الأجزاء الخضرية إلى الحبوب فقط عند بداية تكوين الحبوب وأنه عند هذهِ المرحلة من التطور الحبوب لا تزال تجهز بوساطة عصير الخشب. لقد درس انتقال عدد من المعادن الثقيلة في نبات الطماطم. في اختبار المواد المفروزة بالهجرة الكهربائية، فوجد ان المنغنيز يهاجر أو ينتقل إلى القطب السالب (Cathode) ومن هذا اتضح بأن المنغنيز ينتقل على شكل Mn^{2+} بصورة رئيسة على شكل مركبات عضوية. ولقد وجدت نتائج مشابهة في مستخلص نباتRyegrass. المنغنيز ينتقل إلى الخلايا والأجزاء المرستيمية بصورة مميزة أو مفضلة. أعضاء النبات الحديثة التكوين لهذا تكون غنية بالمنغنيز. في تجارب المحاليل الغذائية وجد بأن إضافة Si حسنت من توزيع المنغنيز في نباتات الشعير. وان عند التجهيز العالي لـ Si فأن نباتات الفاصوليا قد تقاوم التراكيز العالية من Mn. وبغياب Si في الوسط الغذائي فان توزيع Mn في الورقة كان متغايراً ويتصف بالتجمع البقعي (Spot-Like Accumulation).

احتاج النبات لعنصر المنغنيز

تختلف النباتات في احتياجها لهذا العنصر

تراكيز عنصر المنغنيز في الأنسجة النباتية اقل من ١٠ جزء بالمليون تعني وجود نقص، وأكثر من ١٠٠ جزء بالمليون تسمم

النقصان والسمية Deficiency And Toxicity

الكلوروبلاست هو اكثر أجزاء الخلية حساسية لنقص المنغنيز وان عدم الانتظام في نظام الـ Lamella يحصل. في النباتات ككل. أنسجة النبات التي تقاسي من نقصان المنغنيز بشكل كلي تكون خلاياها ذات حجم صغير وجدران الخلايا هي السائدة وأجزاء Interepidermal منكمشة. نقصان المنغنيز يشبه نقصان المغنيسيوم إذ يحدث في كلتا الحالتين الاصفرار في العروق الوسطية للأوراق ولكن الاختلاف

يكون فقط في أن أعراض نقصان المنغنيز تظهر أولا في الأوراق الحديثة التكوين بينما في حالة المغنيسيوم تظهر الأعراض أولا في الأوراق القديمة. أعراض نقص المنغنيز في النباتات ذوات الفلقتين في أكثر الأحيان تتميز بظهور بقع صفراء صغيرة على الأوراق. وهذه المجموعة من الأعراض التي تظهر في وقت واحد تكون مختلفة عما هو عليه في نقصان الحديد إذ إن الورقة الحديثة التكوين تكون مصفرة كلياً. تظهر أعراض نقصان المنغنيز في البنجر السكري. حالة النقصان في نبات البنجر هي مرحلة متقدمة إذ إن منطقة العروق الوسطية فقط لا تزال خضراء اللون. في النباتات ذوات الفلقة الواحدة ولاسيما في نباتات الشوفان تظهر أعراض نقص المنغنيز في الجزء القاعدي (Basal) من الأوراق وذلك بوجود بقع أو خطوط ذات لون أخضر مشيب. نباتات الشوفان تكون عرضة لنقص المنغنيز أثناء مدة تكوين الأغصان (Tillering Stage) والمرض هنا يعرف باسم (Grey Speck) ويقل الانتفاخ في النباتات المتأثرة، وفي المراحل المتقدمة من المرض يبدأ الجزء العلوي من الورقة بالانكسار من وسطها.

حالة المنغنيز التغذوية في النبات تعكس بما يحتويه النبات من منغنيز. المستوى الحرج في النقصان لاكثر أنواع النباتات هو عند ١٠ – ٢٠ ميكروغرام Mn/ غرام مادة جافة للأوراق الناضجة من النبات واقل من هذا المستوى فان إنتاج المادة الجافة ومحصلة عملية التركيب الضوئي والكلوروفيل تتأثر بصورة كبيرة بينما معدلات التنفس والنتح لا تتأثر.

سمية المنغنيز ليس مثل نقص المنغنيز ترتبط بحد حرج من تركيز المنغنيز. إن قيماً من ٢٠٠ ميكروغرام في الذرة الصفراء إلى ٥٣٠٠ ميكروغرام Mn/ غم مادة جافة في نبات زهرة الشمس تؤدي إلى إظهار نقص قدرها ١٠٪ من حاصل المادة الجافة. وهذه القيم ترتبط بدرجات الحرارة حيث التراكيز العالية المنغنيز تكون مع درجات الحرارة المرتفعة للنمو. الحاصل الواطئ الذي يتم الحصول عليه مع سمية M_n يعود إلى تثبيط تمثيل CO_2 بينما تحرر O_2 من التركيب الضوئي لم تتأثر في نبـــــــــــــــــــــات (*Phascolus vulgaris*) بأن سمية Mn تخفض من تركيز الكلوروفيل فقط في الأوراق غير الناضجة مع انخفاض في تمثيل الأوراق لثاني أوكسيد الكربون كنتيجة لذلك، بينما الأوراق الناضجة حتى مع أعراض السمية لم تتأثر في تمثيلCO_2 . أن نمو الأجزاء العليا للنبات كان اكثر حساسية من نمو الجذور لسمية المنغنيز. سمية المنغنيز توجد بشكل رئيس في الترب الحامضية إلى الترب شديدة الحامضية إذ التراكيز العالية من Mn^{2+} تسود وان غمر التربة بالماء يحصل بالترابط مع جهد الاختزال العالي. وهذا بصورة خاصة هو الحال مع الترب الحامضية بالكبريتات مع درجة تفاعل حتى اقل من ٣,٠. هنا سمية Mn كثيراً ما ترتبط

مع سمية Fe و Al. أعراض السمية تتصف بشكل رئيس ببقع بُنية اللون من MnO_2 في الأوراق القديمة محاطة بمساحات مصفرة. سمية المنغنيز وجدت في الشعير الربيعي النامي في الترب الحامضية واتصفت ببقع بُنية داكنة اللون عند قمم الأوراق التي تكون ملتفة وذات تراكيز عالية جداً من المنغنيز. بعض الأحيان المنغنيز الفائض يحدث نقص لعناصر غذائية أخرى مثل Fe، Mg و Ca. والشيء ذاته صحيح بالنسبة للمغنيسيوم. في حالة المنغنيز الذي يحدث نقصاً في الكالسيوم تتصف بتجعد الأوراق الذي قد نشر وجوده في القطن. إن انتقال Ca إلى المواقع النامية هو الذي تأثر.

تركيز المنغنيز في النبات

يختلف المنغنيز عن باقي العناصر الصغرى من حيث اختلاف تركيزه بالنبات حيث وجد أن هناك اختلافات كبيرة في تركيز المنغنيز داخل النباتات المختلفة وليس هذا فقط بل أيضا بين النباتات داخل النوع الواحد. والتركيز العادي لهذا العنصر بالنباتات يكون في مدى ٢٠ إلى ٥٠٠ جزء في المليون في المادة الجافة ويتضح ذلك من جدول (٣٢). عادة يقل تركيز المنغنيز داخل النبات مع زيادة عمر هذا النبات، كذلك وجد أن تركيز المنغنيز بالنبات يرتبط برقم pH بالتربة النامي بها هذا النبات، حيث يقل التركيز مع ارتفاع الـ pH بالتربة. وعلى هذا نجد أن الحدود الحرجة لهذا العنصر تختلف من نبات إلى آخر كما في جدول (٧-١١)، ومن هذا الجدول نجد أنه عند انخفاض التركيز عن ٢٠ جزءاً في المليون في كثير من النباتات تظهر أعراض نقص المنغنيز. بينما تظهر أعراض السمية على النبات إذا زاد التركيز عن ٥٠٠ جزء في المليون، ويشذ عن ذلك نبات الأرز، حيث وجد أن هذا النبات شديد التحمل لزيادة المنغنيز في وسط النمو حتى إذا وصل التركيز إلى ٢٥٠٠ جزء في المليون، كما وجد أيضا أن هناك علاقة بين كلٍ من أعراض النقص والسمية بعنصر المنغنيز والتي تظهر على النبات بمحتوى هذا النبات من الحديد. فالتركيز المرتفع جداً أو المنخفض جداً من الحديد بالنبات مقارنة بتركيز المنغنيز يؤدى إلى ظهور أعراض النقص أو السمية بالمنغنيز على النبات بالترتيب.

حساسية النباتات لنقص المنغنيز بالتربة:

تختلف النباتات فيما بينها في درجة حساسيتها لنقص المنغنيز الميسر ويمكن تصنيفها كما يلي:

نباتات عالية الحساسية لنقص المنغنيز وتشمل: الفول، الخيار، الخس، الشوفان، البسلة، الفجل، فول الصويا، الذرة الرفيعة، السبانخ، بنجر السكر، القمح، الموالح، التفاح، الخوخ، العنب و الفراولة.

نباتات متوسطة الحساسية لنقص المنغنيز وتشمل: البرسيم الحجازي، الشعير، الكرنب، القرنبيط، الطماطم، البطاطس، الأرز و اللفت.

نباتات درجة حساسيتها منخفضة وتشمل: الإسبركس والقطن.

أما بالنسبة لدرجة حساسية النبات لزيادة المنغنيز الذائب، يعتبر الأرز من أهم المحاصيل تحملاً، بينما البرسيم الحجازي والكرنب والقرنبيط والأناناس وبنجر السكر والطماطم ومحاصيل الحبوب والبرسيم تعتبر من المحاصيل الحساسة لزيادة المنغنيز وبالتالي تظهر عليها أعراض السمية.

الجدول ٣٢: الحدود الحرجة لتركيز المنغنيز في بعض المحاصيل

النبات	الجزء النباتي	نوع المزرعة النباتية	تركيز المنغنيز بالجزء في المليون		
			حدود النقص	حدود الكفاية	حدود السمية
البرسيم الحجازي	القمة النباتية	محلول مغذى	<١٠	–	–
		مزرعة رضية	–	٦٢-٢٤٠	٦٥١-١٩٧٠
التفاح	الأوراق	حقل	١٥	٣٠	–
الشعير	القمة النباتية	مزرعة أرضية	–	١٤-٧٦	–
فاصوليا	القمة النامية	حقل	٣٢-٦٨	٢٠٧-١٣٤٠	–
الذرة	كيزان أوراق	الحقل	–	١٩-٨٤	–
القطن	القمة النامية	مزرعة أرضية	–	٢٧-٢١٦	١١٣٠-٢٩٢٠
الشوفان	القمة النامية	أرض حمضية	–	٣٠١-٣٧٠	–
البرتقال	الأوراق	الحقل	١٥	٢٥-٢٠٠	١٠٠٠
الأرز	القمة النامية	محلول مغذي	<٢٠	–	>٢٥٠٠
فول الصويا	القمة النامية	مزرعة أرضية	<١٥	٣٥	–
بنجر السكر	الأوراق	الحقل	٥-٣٠	٧-١٧٠٠	١٢٥٠-٣٠٢٠
الطماطم	الأوراق	محلول مغذي	٥-٦	٧٠-٣٩٨	–
القمح	القمة النامية	محلول مغذي	–	١٨١-٦٢١	٣٩٥-٢٥٦١

عن ال FAO ١٩٨٣

أعراض نقص المنغنيز على النبات

تبدأ ظهور الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة النمو عند انخفاض تركيز المنغنيز في النبات عن ٢٠ جزء في المليون. ويمكن ذكر الظروف المشجعة على ظهور هذه الأعراض والتي تتمثل في: انخفاض محتوى التربة من المنغنيز الميسر والمستخلص بمحلول DTPA عن ٢.٠ جزء في المليون، وفي الأراضي القاعدية، ارتفاع محتوى التربة من الكمية الميسرة لعناصر الحديد، النحاس و الخارصين وفي أراضي المناطق الجافة وأراضي المناطق الباردة وأراضي المناطق شديدة الأمطار.

وتكون هذه الأعراض باختصار كما يلي:

- ظهور اصفرار بين عروق الأوراق الحديثة، ثم تتميز بعد ذلك بظهور بقع بنية لأنسجة ميتة منتشرة على الورقة مع بقاء عروق الورقة خضراء داكنة (أي تبدو الورقة مبقعة كلوحة الشطرنج).
- تظهر منطقة ذات لون رمادي عند قاعدة الأوراق الصغيرة ثم يتحول إلى لون مصفر وفي النهاية يتحول إلى اللون البرتقالي المصفر.
- وأعراض المنغنيز المنتشرة على نباتات الشوفان تعرف باسم البقع الرمادية Grey Speck وعلى البسلة تعرف باسم نقط المستنقعات أو البقع السبخة Marsh Spot و على قصب السكر تعرف باسم الأمراض الخطية أو الشريطية Streak Disease.

وفيما يلى أعراض نقص المنغنيز على أهم المحاصيل الاقتصادية:

الحمضيات: تظهر الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة في شكل مناطق ذات لون أخضر داكن على طول العرق الوسطى والعروق الجانبية الرئيسية مع ظهور لون أخضر باهت على المساحات الموجودة بينها على نصل الورقة. وقد تمتد هذه الأعراض بسرعة إلى الأوراق الأكبر عمراً. وفي المراحل المبكرة تظهر الأعراض بشكل بقع أو نقط خضراء فاتحة غير منتظمة على حواف الورقة، ومعظم هذه البقع تأخذ شكل حدوة تتجه فتحتها نحو العرق الوسطي. ومع تطور حالة النقص يزيد عدد البقع وتأخذ لونا يتدرج من الأخضر الباهت إلى الأبيض، وتختلف أعراض نقص المنغنيز مع أعراض نقص الخارصين في عدة نقاط وهي:

- حجم الورقة لا يصغر، وشكل الفرع لا يتغير.
- نصفي الورقة يكونان متماثلان في المساحة.
- لا يحدث قصر في طول السلاميات.
- تظهر الأعراض المبكرة على أجزاء الشجرة المعرضة أكثر للظل.

- لا يحدث تساقط غير عادي للأوراق.
- لا يتأثر شكل الثمرة ولا لونها وكذلك حجمها.

العنب: تظهر الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة ولكن في وقت متأخر عن ظهور أعراض نقص الحديد، وذلك بلون أخضر داكن حول العروق الرئيسية، بينما يكون لون باقي الورقة أخضر باهت، ولا يصحب تغير لون الأوراق أي نقص في حجمها إلا إذا كان النقص شديد.

القمح والشعير والأرز: يظهر في البداية في شكل بقع بنية، رمادي اللون على النصف القاعدي من الورقة الثالثة من أعلى. وتستطيل البقع لتتطور إلى خطوط موازية للعروق، بينما يبقى لون طرف الورقة القمي أخضر لبعض الوقت، ومع استمرار النقص تظهر الأعراض على الأوراق الأكبر سناً على شكل نقط بنية مخروطية الشكل تظهر مبعثرة على الربع القاعدي من الورقة.

الذرة: تظهر أعراض النقص على الأوراق في شكل خطوط بيضاء مع بقاء التعريق أخضر، وفي حالة النقص الشديد قد تتحول هذه الخطوط إلى اللون البنى وتسقط الأوراق.

الفول البقولي والسوداني، البرسيم ومحاصيل الخضر البقولية: يظهر على الأوراق الصغيرة في العمر مثل الحديد، وذلك على شكل نقط بنية – رمادية اللون ومبعثرة على خلفية ذات لون أخضر فاتح ويظل لون العروق الرئيسية أخضر، ماعدا في حالة الفول السوداني حيث تصفر هذه العروق.

القطن: يبدأ ظهوره على الأوراق العليا الحديثة، وذلك بتحول لونها إلى الرمادي المصفر أو الرمادي المحمر مع بقاء لون العروق أخضر.

البطاطس: تظهر الأعراض على الأوراق الحديثة في شكل مناطق خضراء باهتة بين العروق ثم تتحول إلى اللون البني، وتزيد منطقة اللون البني بطول العروق مع زيادة النقص.

الطماطم: يبدأ باصفرار الأوراق العليا ويكون الاصفرار أيضا بالعرق الرئيسي للوريقة، ويكون على هيئة بقع تظهر بقاعدة الوريقات أكثر من قمتها، ثم باشتداد النقص يتحول اللون إلى اللون البنى في مكان الاصفرار حتى يعم الورقة كلها فتسقط أو تجف.

علاج أعراض نقص المنغنيز

يتم علاج أعراض نقص المنغنيز على النباتات بإضافة أحد الأسمدة التي تحتوى على المنغنيز سواء عن طريق التربة أو عن طريق الرش وخاصة في حالة الرغبة في المعالجة السريعة للأعراض الظاهرة.

ومن الجدير بالذكر بأن الصفات الطبيعية والكيميائية للتربة ونوع السماد يلعبان دوراً أساسياً في تحديد طريقة الإضافة. وعلى ذلك ففي الترب الجيرية يفضل استخدام الأسمدة المخلبية عن الأسمدة المعدنية وذلك لقابلية المنغنيز في الصورة الأخيرة للتأكسد وبالتالي يصبح أقل تيسراً للنبات، وفي حالة عدم توفر المركبات المخلبية يمكن استخدام المركبات المعدنية تكبيشاً بجوار النبات أو الأفضل استخدامها رشاً على المجموع الخضري للنبات.

الأسمدة المحتوية على المنغنيز

يتم علاج أعراض نقص المنغنيز على النباتات بإضافة أحد الأسمدة التي تحتوى على المنغنيز سواء عن طريق التربة أو عن طريق الرش وخاصة في حالة الرغبة في المعالجة السريعة للأعراض الظاهرة. والجدول (٣٣) يشير إلى أهم هذه الأسمدة المستخدمة ومعدلات استخدامها بالطرق المختلفة. ومن الجدير بالذكر بأن الصفات الطبيعية والكيميائية للتربة ونوع السماد يلعبان دوراً أساسياً في تحديد طريقة الإضافة. وعلى ذلك ففي الترب الجيرية يفضل استخدام الأسمدة المخلبية عن الأسمدة المعدنية وذلك لقابلية المنغنيز في الصورة الأخيرة للتأكسد وبالتالي يصبح أقل تيسراً للنبات، وفي حالة عدم توفر المركبات المخلبية يمكن استخدام المركبات المعدنية تكبيشاً بجوار النبات أو الأفضل استخدامها رشاً على المجموع الخضري للنبات.

الجدول ٣٣: أسمدة المنغنيز والمعدلات المقترحة حسب طريقة الإضافة

اسم السماد	الرمز الكيميائي	% للمنغنيز	المعدلات المقترحة للاستخدام كغم منغنيز/هكتار		
			نثر	تكبيش	رش
كبريتات المنغنيز	$MnSO_4.3H_2O$	٢٦ –٢٨	٢٢ –١٣٠	٦ – ١١	٠.٥ – ٢.٠
أوكسيد المنغنيز	MnO	٤١ –٦٨	٨٤	١١	٤ – ٦
المنغنيز المخلبي	Mn - EDTA	١٢	–	–	٠.١ – ٠.٥

عن الـ FAO سنة ١٩٨٣

أهم الأغذية التي تحتوي منغنيز

النباتية: الفاصوليا، التوت، الجوز، الكستناء، البندق، الشوفان، الفستق الحقل، بزاليا، السبانخ، الشاي، البابونج. **الحيوانية**: عشب البحر

الفصل الخامس عشر

النحاس

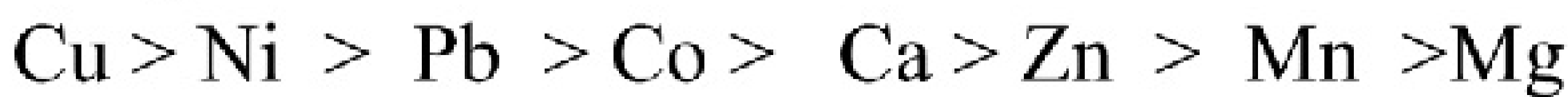
استهلال

- ورد ذكره في القران الكريم، قال تعالى ﴿يُرْسَلُ عَلَيْكُمَا شُوَاظٌ مِّن نَّارٍ وَنُحَاسٌ فَلَا تَنتَصِرَانِ﴾ الرحمن: ٣٥
- بدأ الاهتمام بالنحاس عام ١٩٢٨
- يوجد في التربة بمعدلات تتراوح بين ١-١٠٠ وقد يصل إلى ١٥٠ جزء بالمليون
- يمتص بصورة Cu^{++}
- يتراوح تركيز النحاس في مادة النبات الجافة من ٢-٢٠ جزء بالمليون (عادة أقل من ١٠ جزء بالمليون)
- يوجد في مركبات عضوية وغير عضوية
- يثبت في المعادن البلورية ويرتبط بحبيبات التربة بقوة
- تحتوي المادة الجافة من النبات على ١-٢٠ ملغم.كغم$^{-1}$
- صبغة البورفيرينية الموجودة في النباتات والحيوانات تحتوي النحاس
- الإنسان البالغ (٧٠ كغم) يحتوي جسمه على ١٢٠ ملغرام نحاس، ويوجد في المخ والكبد والطحال والعضلات والبنكرياس والكليتين والقلب
- يوجد النحاس في الحليب، وأعلى كمية في حليب الجرذان ٧ ميكروغرام في كل مل، واقل كمية في حليب الأبقار ٠.٦ ميكروغرام في كل مل
- نقص النحاس في الإنسان يسبب الأنيميا وقصور النمو وهبوط عمل القلب، والتسمم به يؤدي إلى تلف الكبد
- يتراوح تركيز النحاس في مادة النبات الجافة من ٢-٢٠ جزء بالمليون (عادة أقل من ١٠ جزء بالمليون)
- محتوى الترب الكلسية من النحاس يكون ضئيلاً حتى بوجود نسبة عالية من المادة العضوية وقد يرجع ذلك إلى تأثير المادة الكلسية في رفع pH التربة وترسيب النحاس بصورة كربونات النحاس ($CuCO_3$) أو هيدروكسيدات النحاس $Cu(OH)_2$.
- وفي حالة انخفاض تركيز النحاس عن ٤ جزء بالمليون تكون النباتات تعاني من نقص هذا العنصر

● يصل تركيزه في التربة ٠,٦ جزء بالمليون وهو عنصر غير متحرك في النبات وغير متحرك في التربة (بطئ الحركة جدا في التربة).

نحاس التربة

النحاس ثنائي التكافؤ تقريباً هو النحاس السائد في التربة، واعتيادياً يوجد الجزء الكبير من النحاس في الصفائح البلورية للمعادن الأولية والثانوية، فضلاً عن ذلك يوجد جزء كبير من النحاس مرتبط بمادة التربة العضوية. أيون النحاس يدمص إلى المجاميع العضوية وغير العضوية الحاملة للشحنة السالبة وكذلك ذائب في محلول التربة بصورة Cu^{2+} ومركبات النحاس العضوية. النحاس يدمص بصورة خاصة للكربونات، مادة التربة العضوية، والـ phyllosilicates والأكاسيد المائية للـ Al، Fe، Mn. إن مستويات النحاس الكلي تكون موجودة بما يقرب من ٥٠ إلى ٥٠ ميكروغرام / غم تربة وجزء كبير منها يوجد على شكل بلوري أو مثبت (Occluded)، وتركيزه في محلول التربة اعتيادياً يكون جدا قليلاً ويوجد بمعدل ١×١٠^{-٥} إلى ٦×١٠^{-٤} مول / م^{٣}. تركيز النحاس في محلول التربة ينخفض بحدة بزيادة درجة تفاعل التربة بينما تركيز النحاس في المركبات العضوية في محلول التربة هي اقل اعتماداً على درجة تفاعل التربة. درجة تفاعل التربة العالية قد حتى تحفز تحلل مركبات النحاس العضوية. أيون النحاس ثنائي التكافؤ ذات إلفه قوية لمادة التربة العضوية مقارنة بالكاتيونات الثنائية التكافؤ الأخرى كما موضح بسلسلة التدرج الآتية



$$Cu > Ni > Pb > Co > Ca > Zn > Mn > Mg$$

النحاس قد يربط بصورة مخلبية إلى المادة العضوية الذي يعني بان هذا الربط يكون برابطة تساهمية متناسقة، إذ يرتبط بتناسق إلى ذرات O، N، و S وفق التدرج الاتي: $O < N > S$. لذا مادام N يوجد في مادة التربة العضوية بتراكيز اعلى بكثير مما هو عليه مع S، فأن ذرات N تلعب دوراً رئيساً في خلب Cu^{2+} كمياً.

إن الجزء الكبير من Cu^{2+} هو أيضا يرتبط بأصرة تساهمية إلى مجاميع الكاربوكسيل كما يحصل في حوامض الهيوميك والفولفيك في مادة التربة العضوية. هذا الربط التساهمي الأحادي التسنن (Covalent Monodentate Binding) للنحاس لمجموعة الكاربوكسيل ليس قوياً كما هو الحال مع خلب النحاس.

توازن تركيز النحاس يحافظ عليه بوساطة أملاحه الذائبة والموجودة على شكل احتياطي متبادل مثل كربونات النحاس واوكسيدات النحاس التي يكون تركيزها أعلى من تركيزه في محلول التربة. ولذا فإن وجود الكربونات والاوكسيدات في التربة لا يلعب دوراً في تقليل جاهزية النحاس. تركيز النحاس في محلول التربة

يتحكم به النحاس المدمص على جزيئات التربة العضوية والمعدنية. ولهذا السبب Cu صعب الحركة في التربة بدرجة كبيرة ومن الناحية التطبيقية لا يغسل إلى أعماق التربة. والمضاف منه إلى التربة بشكل أسمدة فانه يقيد في الآفاق العليا (Upper Horizons) للتربة. ولذا فان محتوى كثير من الأتربة للنحاس يتناقص بازدياد عمق مقد التربة. وإزالة النحاس من التربة يحصل باستعمال أحماض قوية أو بوساطة المركبات العضوية التي تكون مع النحاس مركبات عضوية نحاسية. وأهمية هذه المركبات الكاشفة. Complexing Reagents كبيرة، وفي الحقيقة KCN كمثال يكون قادراً على استخلاص ٥٠٪ أو اكثر من النحاس الكلي الموجود في التربة، بينما استعمال الكواشف غير المركبة (Non-Complexing Reagents) تستخلص كمية قليلة جداً. اذا ظهرت حالة نقص بالنحاس في الأتربة الغنية بمادة الدبال القادرة على ربط Cu^{2+} بقوة، فان هذا يفترض إلى وجود مواد عضوية قادرة على ربط النحاس وجعله بصورة غير جاهزة لقد عززت هذه النتيجة بوساطة التنشيط النتيروني (Neutron Actvation) للنحاس المغلف بالمادة العضوية في محلول. أن جاهزية النحاس في الأتربة العضوية لا تعتمد على تركيز النحاس في محلول التربة فحسب بل على الشكل أو الصورة التي يتواجد بها كذلك مركبات النحاس في محلول التربة التي يكون وزنها الجزيئي اقل من ١٠٠٠ تكون اكثر جاهزية للنبات من المركبات التي يكون وزنها الجزيئي اكثر من ٥٠٠٠.

يعد عنصر النحاس من العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات. يتراوح محتوى الترب من النحاس الكلي ما بين ٥-٥٠ ملغم كغم$^{-1}$ تربة، وقد يصل في بعض الحالات إلى ١٠٠ ملغم. كغم$^{-1}$ تربة. ان محتوى القشرة الأرضية من النحاس يقل عن 0.001%. وان النحاس الكلي في القشرة الأرضية بحدود ٥٥-٧٠ ملغم كغم$^{-1}$ تربة.

يوجد الجزء الأكبر منه في الصفائح البلورية للمعادن الأولية والثانوية. من اهم المعادن الحاوية على هذا العنصر هي:

١-الكبريتيدات البسيطة مثل Covellite (CuS), Chalcocite (Cu_2S)

٢-الكبريتيدات المعقدة مثل: Tertrahedrite($(Cu,Fe)_{12}Sb_4S_{13}$), Enargite (Cu_3As_4), Bronite (Cu_5FeS_4), Chalcopyrite ($CuFeS_2$)

٣-الأكاسيد مثل: Tenorite (CuO), Cuprite (Cu_2O)

٤-الكربونات مثل: AZurit $Cu_3(OH)_2 (CO_3)_2$, Malachite $(Cu_2(OH)_2 CO_3)$

٥-السيليكات مثل Chrysocolla $(CuSiO_3 . 2H_2O)$

٦-الكبريتات مثل Brochantite $(Cu_4 (OH)_6 SO_4)$

فضلا عن وجوده في المعادن الأولية للتربة، فانه يوجد في المعادن الثانوية ومادة التربة العضوية

صور النحاس في التربة

١-النحاس الذائب في محلول التربة هو اقل كمية من الأشكال الأخرى.

٢-النحاس المتبادل على سطوح معادن الطين والمادة العضوية ويكون بحالة جاهزة للنبات وهذا الشكل يكون في حالة اتزان مع نحاس محلول التربة.

٣-النحاس المحجوز في صفائح المعادن البلورية.

يرتبط النحاس بقوة بحبيبات التربة، لذا فانه عنصر غير سهل الحركة ويزداد تركيزه في الأفاق العليا ويتناقص مع العمق

العوامل المؤثرة على جاهزية النحاس في التربة

١. درجة تفاعل التربة (pH) يقل مستوى النحاس في محلول التربة بارتفاع تفاعل التربة، لسيادة كربونات الكالسيوم عند هذه الدرجات

٢. المستويات العالية من الفوسفات والنتروجين تقلل من جاهزية النحاس

٣. العناصر الصغرى الأخرى، يحصل تنافس للنحاس عندما تكون العناصر(Fe^{++} و Mn^{++} وZn^{++}) بكميات عالية

٤. المادة العضوية تقلل من جاهزية النحاس

النحاس الكلي

إن الترب تختلف فيما بينها في محتواها من النحاس الكلي، حيث يتراوح من ١٠ إلى ٢٠٠ جزء في المليون وكمتوسط عام يكون حوالي ٥٥ جزء في المليون. وتعتبر الترب الناشئة من الصخور النارية مثل البازلت وهى صخور قاعدية التأثير وغنية في النحاس (تحتوي على ١٠٠ جزء في المليون نحاس) في حين أن الترب الناشئة من الصخور الحامضية التأثير مثل الجرانيت (تحتوى على ١٠ جزء في المليون نحاس). وبصفة عامة يتأثر محتوى التربة الكلي من النحاس بقوام التربة، حيث وجد أن المحتوى الكلى يزداد مع زيادة كمية

الحبيبات صغيرة الحجم، أي يزداد في الترب ناعمة القوام. وفي الترب العراقية وجد أن المحتوى الكلي من هذا العنصر في الأراضي الرسوبية يتراوح من ٢٠ إلى ٦٢ جزء في المليون و في الأراضي الجيرية كانت هذه القيمة بين ١٠– ٥٠ بينما كانت في الأراضي الرملية من ٦ إلى ١٨ جزء في المليون.

تركيز النحاس في النبات

يتراوح تركيز النحاس في النباتات المختلفة من ٥ إلى ٢٠ جزء في المليون، وتكون النباتات الصغيرة ذات تركيز مرتفع من النحاس ويقل التركيز مع تقدم هذه النباتات في العمر والوصول إلى مرحلة النضج. يتوقف توزيع النحاس داخل النموات الحديثة على مدى توافر هذا العنصر في وسط النمو، حيث يسلك النحاس مسلك العناصر المتحركة داخل النبات في حالة الإمداد الكافي ويشابه العناصر غير المتحركة في حالة النقص. حيث يزداد تركيز النحاس في النموات الحديثة بالمقارنة بالنموات المسنة في حالة توافر العنصر في وسط النمو، بينما في حالة النقص تحتوى هذه النموات على تركيز أقل منه في النموات المسنة.

الحدود الحرجة للنحاس في النبات

الحدود الحرجة لتركيز النحاس في النبات يوضحها الجدول (٣٤). ومن الجدول نجد أنه بانخفاض التركيز داخل النبات عن ٤ جزء في المليون يكون من المتوقع ظهور أعراض نقص النحاس على هذه النباتات. أما من حيث التركيز الذى يؤدى إلى ظهور أعراض السمية للنحاس على النبات فيمكن القول بأن زيادة التركيز عن ٢٠ جزء في المليون ربما يؤذي النبات.

حساسية النباتات المختلفة لنقص النحاس في التربة

تختلف النباتات فيما بينها في درجة حساسيتها لنقص النحاس في التربة ويمكن وصف ذلك كما يلي:

- نباتات حساسة لنقص النحاس: وتشمل البرسيم الحجازي، الشعير، الجزر، الخس، السبانخ، الشوفان، حشيشة السودان، بنجر المائدة، القمح و الموالح.
- نباتات متوسطة الحساسية لنقص النحاس: وتشمل الكرنب، القرنبيط، البرسيم، الخيار، الذرة، القطن، الفجل، بنجر السكر، الطماطم، الذرة السكرية، اللفت، التفاح، الخوخ، الكمثرى و الفراولة.
- نباتات قليلة الحساسية لنقص النحاس: وتشمل الأسبركس، الفول، البسلة، البطاطس، فول الصويا و الأرز.

الجدول ٣٤: الحدود الحرجة لتركيز النحاس في بعض النباتات

المحصول	الجزء المأخوذ للتحليل (العينة)	تركيز النحاس بالجزء في المليون		
		حد النقص	حد الكفاية	حد السمية
البرسيم الحجازي	قمة النبات (١٥سم)	١٠ >	١٠ – ٣٠	٣٠ <
الذرة	ورق الكوز	٥ >	٥ – ٣٠	٣٠ <
القطن	الأوراق الناضجة حديثاً	٨ >	٨ – ٢٠	٢٠ <
فول الصويا	الأوراق الناضجة حديثاً	١٠	١٠ – ٣٠	٣٠ <
الشعير	الحبوب	–	٦ – ١٢	–
الشوفان	أوراق(عمر ٦–٩ أسبوع)	٣ >	٧ – ١٢	–
القمح	السيقان	٨	٩ – ١٨	–
التفاح	الأوراق العلوية	١ – ٤	٣ – ١٢	–
البرتقال	الأوراق (عمر ٤–٦ سبوع)	٤ – ٦	٦ – ١٦	١٧ – ٢٢
العنب	الأوراق الصغيرة	٢ – ٥	٨ – ١٠	–

النحاس في تغذية النبات

المحتوى الكلي للمادة النباتية من النحاس اعتياديا اقل من ١٠ ميكروغرام Cu / غرام مادة جافة، ففي هذه الحالة تكون احتياجات النبات للنحاس قليلة. ولهذا فان محاصيل الحبوب ستمتص ما يقرب من ٥٠٠ غرام Cu / هكتار. معظم الأتربة تحتوي على مستويات مناسبة لاحتياجات النبات من النحاس الجاهز. والأتربة التي تعاني من نقصه أما تكون في طبيعتها ذات محتوى قليل منه أو أن تكون فقيرة في الجاهز منه. ومجاميع الأتربة التي تحتوي على مستوى قليل منه في طبيعتها تضم الأتربة المغسولة مثل تربة Podzolic الرملية والأتربة المتكونة من مادة الأصل الفقيرة به. والأتربة التي تحتوي على كمية قليلة من النحاس الجاهز التي يكون امتصاصه فيها قليلاً النبات هي الأتربة العضوية، والتي تحتوي على نباتات متحللة (Peat)، والكلسية وبعض الأتربة التي تحتوي على نسبة كبيرة من الطين. ظاهرة نقصان النحاس تظهر في الأتربة المستصلحة الحاوية على أجزاء نباتية متحللة، ولذا فإن نقصانه قد أطلق عليه اسم مرض الاستصلاح (Reclamation Disease).

الجدول ٣٤: الحدود الحرجة لتركيز النحاس في بعض النباتات

المحصول	الجزء المأخوذ للتحليل (العينة)	تركيز النحاس بالجزء في المليون		
		حد النقص	حد الكفاية	حد السمية
البرسيم الحجازي	قمة النبات (١٥سم)	> ١٠	١٠ – ٣٠	< ٣٠
الذرة	ورق الكوز	> ٥	٥ – ٣٠	< ٣٠
القطن	الأوراق الناضجة حديثاً	> ٨	٨ – ٢٠	< ٢٠
فول الصويا	الأوراق الناضجة حديثاً	١٠	١٠ – ٣٠	< ٣٠
الشعير	الحبوب	–	٦ – ١٢	–
الشوفان	أوراق(عمر ٦–٩ أسبوع)	> ٣	٧ – ١٢	–
القمح	السيقان	٨	٩ – ١٨	–
التفاح	الأوراق العلوية	١ – ٤	٣ – ١٢	–
البرتقال	الأوراق (عمر ٤–٦ سبوع)	٤ – ٦	٦ – ١٦	١٧ – ٢٢
العنب	الأوراق الصغيرة	٢ – ٥	٨ – ١٠	–

النحاس في تغذية النبات

المحتوى الكلي للمادة النباتية من النحاس اعتياديا اقل من ١٠ ميكروغرام Cu / غرام مادة جافة، ففي هذه الحالة تكون احتياجات النبات للنحاس قليلة. ولهذا فان محاصيل الحبوب ستمتص ما يقرب من ٥٠٠ غرام Cu / هكتار. معظم الأترية تحتوي على مستويات مناسبة لاحتياجات النبات من النحاس الجاهز. والأترية التي تعاني من نقصه أما تكون في طبيعتها ذات محتوى قليل منه أو أن تكون فقيرة في الجاهز منه. ومجاميع الأترية التي تحتوي على مستوى قليل منه في طبيعتها تضم الأترية المغسولة مثل تربة Podzolic الرملية والأترية المتكونة من مادة الأصل الفقيرة به. والأترية التي تحتوي على كمية قليلة من النحاس الجاهز التي يكون امتصاصه فيها قليلاً النبات هي الأترية العضوية، والتي تحتوي على نباتات متحللة (Peat)، والكلسية وبعض الأترية التي تحتوي على نسبة كبيرة من الطين. ظاهرة نقصان النحاس تظهر في الأترية المستصلحة الحاوية على أجزاء نباتية متحللة، ولذا فإن نقصانه قد أطلق عليه اسم مرض الاستصلاح (Reclamation Disease).

أنواع النباتات تختلف من حيث حساسيتها لنقصان النحاس، اكثر النباتات التي تستجيب لإضافة السماد النحاسي عي الشوفان والسبانخ والحنطة والجت، والنباتات ذات المدى الاستيجابي المتوسط هي الملفوف والقرنبيط والبنجر السكري والذرة الصفراء، بينما النباتات البازلاء والحشائش والبطاطا وفول الصويا تكون ذات مدى استجابي واطئ لإضافة النحاس.

الوظائف الحيوية للنحاس في النبات

١. يدخل في تركيب الكلوروبلاست

٢. له دور كبير في عملية البناء الضوئي

٣. تعزى له المواد الملونة للأنسجة النباتية

٤. يشترك في تكوين البروتينات والكربوهيدرات

٥. يؤثر في تكوين العقد الجذرية الخاصة بالنتروجين

٦. يدخل في تركيب أنزيمات الأكسدة

٧. يشترك في العمليات الحيوية للبروتين والكربوهيدرات، ويوجد بتركيز عال في الكلوروبلاست وحوالي ٧٠٪ من النحاس الكلي في الأوراق يكون محاط بالكلوروبلاست

٨. النحاس يدخل في مكونات العديد من الأنزيمات النباتية مثل إنزيمCytochrome oxidase، PolypHenol oxidase، Ascorbic acid oxidase و MonopHenol oxidase

٩. يدخل بصورة مباشرة في عملية التركيب الضوئي وتكوين الكلوروفيل وذلك لدوره في نقل الإلكترونات عند تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية

١٠. يشترك في عمليات الأكسدة والاختزال التي تحدث في أثناء عملية التنفس

١١. يشجع من تكوين فيتامين A في النبات مهم في النمو التكاثري (Reproductive Growth) ويساعد في التمثيل في الجذور ويساعد في استعمال البروتينات ويساهم في إنتاج الكلوروفيل

١٢. النحاس يعمل على زيادة ثبوتية الكلوروفيل وحمايته من الهدم المبكر

١٣. النحاس يعد ضروريا في تكوين مادة Iron Poryphrin والتي تعد أساس بناء صبغة الكلوروفيل.

١٤. للنحاس دوراً مهماً في زيادة تأثير الاوكسين IAA في نمو الخلايا وانقساماتها مما يؤثر في استغلال ما متوفر من المواد الغذائية في تحسين صفات النمو الخضري يدخل في تركيب كثير من إنزيمات الأكسدة والاختزال ويعتبر عامل مساعد في تكوين أنزيمات التنفس وتكوين الكلوروفيل

١٥. هذا العنصر سام للنبات ولكن ظاهرة التضاد وخاصة في التركيزات المنخفضة تخفف كثيراً من حدة السمية لهذا العنصر.

١٦. يزيد في مقاومة النبات للأمراض الفطرية وكثيراً يستخدم كمبيد فطري وكذلك للتخلص من الطحالب في المياه الراكدة .

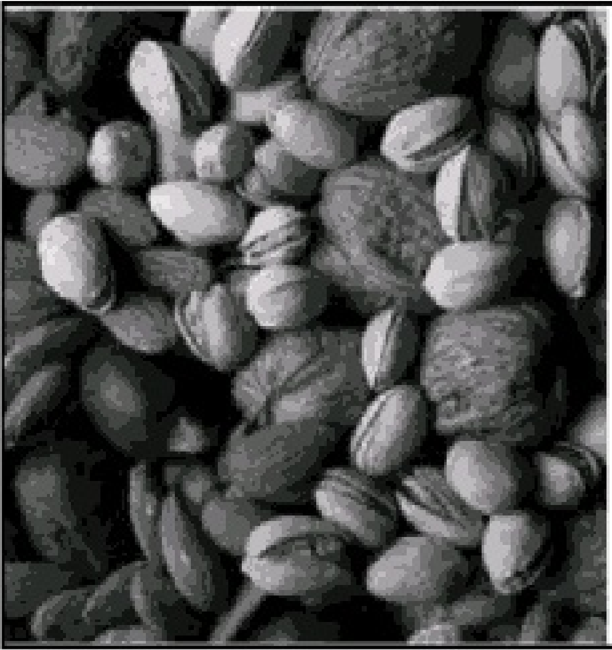
١٧. يلعب دوراً في تفاعل النتروجين داخل النبات .

احتياج النبات لعنصر النحاس

تختلف النباتات في احتياجها لعنصر النحاس

اقل من ٨ جزء بالمليون في أجزاء النبات هو نقص في عنصر النحاس وأكثر من ٥٠ جزء بالمليون هو تركيز سام

نباتات السبانخ تحتاج إلى تسميد عال للنحاس، ثم القرنبيط والملفوف والشلغم، والأقل احتياجا الفول والبطاطا.



أعراض نقص النحاس في النبات

١. النحاس عنصر غير متحرك في التربة والنبات

٢. تظهر الأعراض في الأجزاء الحديثة العليا

٣. تبدأ الأعراض بظهور لون ابيض في قمة الورقة

٤. الأوراق تأخذ شكلا لولبيا وتكوين رفيعة

٥. في أشجار الفاكهة يؤدي إلى ظهور مرض الاكزنثيما Exanthema والموت التراجعي للأغصان وقمة الأشجار وخاصة في الكمثرى والعنجاص والتفاح

٦. في الطماطم يتوقف النمو وتلتف أطراف الورقة نحو الأعلى والأسفل وخاصة الأوراق الحديثة التكوين ثم يبدأ النبات بالتصلب

٧. يظهر على الأوراق الحديثة من النبات ويسبب نقصه الموت الرجعي Die Back

٨. يحدث انحناء الحواف بشكل معلقي مع ذبول الأوراق

٩. يمكن معالجة النقص بالرش بمحلول ٠,٠٥ ٪ من ملح كبريتات النحاس أو إضافة ٠,٢٥ — ٢,٥ كغم نحاس من ملح كبريتات النحاس للدونم

١٠. يمتص عنصر النحاس من قبل النباتات بهيئة أيونية Cu^{+2} وان عملية الامتصاص تكون غير مباشرة حيوياً

١١. يستطيع الانتقال من الأوراق القديمة التكوين إلى الأوراق الحديثة التكوين بالرغم من كونه بطئ الحركة جدا في النبات

١٢. نقصه يحدث تكوين مستويات منخفضة من السكريات المختزلة ويسبب قلة تكوين العناقيد الزهرية ويؤثر في تكوين الأزهار والثمار

١٣. والنحاس قد يسلك سلوك كلٍ من العناصر المتحركة وغير المتحركة داخل النبات، ويتوقف ذلك على مدى توفر هذا العنصر في وسط النمو.

١٤. نقص النحاس عبارة عن تحول لون قمة الورقة إلى اللون الأبيض مع صغر حجم الورقة وقصر المسافات بين العقد وبالت إلى تقزم والتفاف النبات وتساقط الأزهار.

١٥. نقصه يؤدي إلي اصفرار الأوراق في النجيليات وذبولها وعدم ظهور الأعراض علي الأوراق السفلى.

معالجة نقص النحاس

عادةً يتم معالجة نقص النحاس بعد تقدير الكمية الجاهزة منه بالتربة وتحديد الكمية اللازمة والتي يحتاجها النبات وذلك تجنباً لإضافة أي زيادة من النحاس والتي تسبب سمية وضرر للنبات.

ويجب ذكر أن صفات كلٍ من التربة والسماد لهما دوراً هاما في تحديد الكمية وطريقة الإضافة للسماد. فمثلاً يفضل إضافة المركبات المخلبية للنباتات المزروعة في الترب الجيرية وذلك لقدرة تلك المركبات على الحفاظ على النحاس في صورته الصالحة للنبات. وفي كثير من الأحيان يفضل استخدام كبريتات النحاس المائية $CuSO_4.5H_2O$ لإضافتها بالرش وذلك لقدرتها العالية على الذوبان.

في تقييم النحاس الجاهز في التربة استعملت كل من المستخلصات المخلبية وغير العضوية. في حالة استخلاصه من التربة بوساطة ١٠٠٠ مول / م^{٣} HNO_3 أن الحد الأدنى له هو ٤ ميكروغرام Cu / غرام وهو الحد الذي يحصل فيه نمو مناسب لمحاصيل الحبوب. وباستعمال المادة DTPA. بوصفها مستخلصاً (diethyl triaminepentacetate). التي هي أكثر حساسية من EDTA القيمة ٠.٢ ميكروغرام Cu/ غرام هو المستوى الحرج للنحاس لهذا المستخلص. واستخلاص نحاس التربة بالمادة

المغلقة (Chelate) الحاوية DTPA لا يعطي دائماً نتائج موثوقاً بها لقد وجدا علاقة ضعيفة بين محتوى نبات الذرة من النحاس وكميته المستخلصة من الأتربة بوساطة عدد من المواد المغلفة. انه على الرغم من إضافة كميات كبيرة من النحاس إلى التربة فان العلاقة الارتباطية، بين تركيز Cu في الأوراق و Cu المستخلص من التربة بمستخلص ما، قد لا تكون عالية حيث صفات تربة إضافية ولاسيما درجة تفاعل التربة. تحليل النبات قد يوفر وسائل قيمة لاختبار حالة النحاس التغذوية للمحاصيل. أن الفلاحين ينظموا تركيز Cu في فصل الورقة حديث التكوين لنبات الحنطة عند مرحلة الورقة العلمية. هذا التركيز يكون بالمدى ٢.٣ إلى ٣.٥ ميكروغرام Cu / غرام مادة جافة، وانه اكثر أو اقل مما يشابه لأوراق الحنطة أو الشعير والقيم التي أقل من ٢.٠ ميكروغرام Cu / غرام مادة جافة قول على أنها ملائمة. اذا أخذنا بنظر الاعتبار بأن معدل ما يمتصه محصول الحبوب هو فقط ما يقرب ٣٠-٥٠ غم / هكتار فيكون واضحاً بأن كمية النحاس الضرورية الواجب أضافتها تكون قليلة، ولكن كما شرح سابقاً بأن النحاس يرتبط بالتربة بقوة لذا يجب انب تكون كمية السماد النحاسي اكثر من ما يمتصه النبات. المستوى الذي يقرب من ١ كغم Cu / هكتار استمر بتأثيره بعد ٢٠ سنة من الإضافة. أسمدة النحاس المعدنية والعضوية كلتاهما تستعملان في تخفيف نقص النحاس. وفي اكثر الأحيان يستعمل $CuSO_4$ ولاسيما بصورة $CuSO_4 .5H_2O$ إذ يضاف إلى التربة أما بالتلقيم قرب الجذور أو بطريقة النثر.

إضافة لمرة واحدة ١-١٠ كغم نحاس / هكتار يكون اعتيادياً ومناسباً في الأتربة المعدنية، بينما تحتاج الترب العضوية إلى مستوى اعلى من ذلك قليلاً. هناك بعض المشاكل متعلقة باستعمال $CuSO_4$ كسماد، فعندما يضاف هذا الملح إلى التربة ينتقل جزء كبير من أيونات Cu^{2+} إلى محلول التربة ويتحول إلى صورة صعبة الحركة والانتقال (Lmmobilized)، وذلك بوساطة الامتصاص القوي إلى أوجه التبادل فضلاً عن ذلك قد ينتج تأثير سمي من النحاس المتبقي في بعض الأتربة. لقد اقترح إضافة ٢٢ كغم نحاس / هكتار وليس اكثر من ذلك لمحاصيل الخضر أو المحاصيل الحقلية ذات الاستجابة المتوسطة أو المنخفضة للسماد النحاسي. والتأثير السمي لما يتبقى من النحاس المضاف في محلول التربة قد يمكن تخفيفه باستعمال غبار معادنه التي تحرره بمعدل بطيء جداً. أو اعتيادياً باستعمال المواد المغلفة الحاوية عليه. إضافة النحاس بطريقة الرش تستعمل اعتيادياً باستعمال $CuSO_4$. وأوكسيد – كلوريد النحاس، وأوكسيد النحاس أو المواد المغلفة والحاوية على النحاس. والذي يضاف على شكل كبريتات يكون اقل إرضاء وذلك بسبب حرقه لأوراق النبات. ولقد استعملت طريقة مزج البذور بأملاح النحاس ولكن

الجدول ٣٥: يبين أهم الأسمدة التي تحوى النحاس ومعدل إضافتها تبعاً لطريقة الإضافة

السماد	الرمز الكيميائي	% للنحاس	معدل الإضافة المقترح كغم نحاس/ هكتار		
			نثر	تكبيش	رش
كبريتات النحاس	$CuSO_4.5H_2O$	٢٥	٣.٠٠ – ٦.٠٠	١.٤ – ٤.٥	٠.١ كغم/ ١٠٠لتر ماء
	$CuSO_4.H_2O$	٣٥	٣.٠٠ – ٦.٠٠	١.٤ – ٤.٥	٣٠غم/ ١٠٠لتر ماء
النحاس المخلبي	$Na_2CuEDTA$	١٣	٠.٨ – ٢.٤	٠.٢ – ٠.٨	
	Na-CuEDTA	٩	٠.٨ – ٢.٤	٠.٢ – ٠.٨	

عن الـ FAO سنة ١٩٨٣

مصادر النحاس الملوثة للبيئة

يعد النحاس من اقدم العناصر التي واكبت الحضارة البشرية منذ أكثر من (٨) آلاف عام، ومنها حضارة وادي الرافدين، إذ شكلت منه مصنوعات نحاسية مختلفة، وهو عنصر شائع الوجود في الطبيعة وتستخرج كميات كبيرة منه تستخدم في العديد من الصناعات المعدنية والكيميائية وغيرها.

يدخل النحاس في العديد من الصناعات مثل صناعة القطع والأسلاك الكهربائية ذات التوصيل العالي، ومفاتيح الدورات، وفي صناعة الأنابيب المستخدمة في شبكة الماء والكهرباء والغاز، ويدخل في مكونات السبائك وإنتاج البرونز بخلطه مع القصدير. أما أملاحه فتستخدم في انتاج الأسمدة ومبيدات الفطريات والطحالب والقواقع والحشرات وفي عمل أصباغ السيراميك وفي عمليات الطلاء الكهربائي وفي صناعة الأسنان، إذ يشكل نسبة (٠.٥–٦%) من تركيب ملاغم الأسنان.

ويدخل إلى البيئة المائية عن طريق المناجم ومولدات الطاقة إذ تكون نسبته في المبيدات (١٢–٥٠) ملغم/كغم، الأسمدة العضوية (٢–٦٠) ملغم/كغم، الأسمدة النيتروجينية (٠.٥–١٥) ملغم/كغم، الأسمدة الفوسفاتية (١–٣٠٠) ملغم/كغم والحجر الجيري (٢–١٢٥) ملغم/كغم، أما نسبته في مخلفات الصرف الصحي الصلبة مساوية لـ (٥٠–٣٣٠٠) ملغم/كغم.

تلوث الهواء بالنحاس

يتلوث الهواء الجوي بأبخرة وغبار زرنيخ النحاس، تركيزه في هواء المناطق القريبة من أماكن الصناعات التي يدخل فيها النحاس بلغت خلال (٢٤) ساعة إلى (١) مكروغم/م^{٣}. بينما بلغ تركيزه في هواء المناطق البعيدة عن أماكن صناعة النحاس لاتصل إلى (٠.١) مكروغم/م^{٣}. لذا فزيادة حجم الصناعات التي يدخل فيها النحاس كمادة أولية والتي ذكرت سابقا، كلها أدت إلى زيادة في كمية ابخره وغبار زرنيخ النحاس المتصاعد إلى الجو مسببا تلوث الهواء والنباتات والتربة والطرق به. إذ يدخل عن طريق الاستنشاق والتدخين مسببا سرطان الرئة والجلد ويؤثر في مكونات الدم. وهناك حدوث تشوهات خلقية في الأطفال حديثي الولادة لعاملات تعرضن لتراكيز عالية من زرنيخ النحاس بمصنع للنحاس في السويد، وحدوث إجهاض لدى عدد كبير من النساء المتواجدات على بعد (٥٠) كم من هذا المصنع.

تلوث الماء بالنحاس

تتلوث المياه بالنحاس نتيجة لتصريف مياه مخلفات المصانع مباشرة إلى الأنهار والبحار القريبة منها من دون معالجة، كمصانع الأسلاك الكهربائية وأنابيب المياه ومصانع المبيدات والأسمدة. ومن المصادر الأخرى لتلوث المياه بالنحاس هو التآكل في الأنابيب المصنوعة من النحاس والخارصين نتيجة لاحتكاك المياه الحامضية مع جدرانها الداخلية مسببا تحرر النحاس إلى المياه، وكذلك تحرر النحاس من وحدات التصفية للمياه القذرة.. يكسب النحاس المياه الطعم المعدني المميز عند تواجده بتركيز (١.٥) ملغم/لتر، ولقد حدد نظام صيانة الأنهار تركيزه (٠.٠٠٥) ملغم/لتر، وتركيزه في الينابيع والإبار والمياه الجوفية (٠.٠٠٢) ملغم/لتر، ويبلغ اعلى تركيز مسموح به للنحاس في مياه الري الزراعية هو (٠.٢) ملغم/لتر.

تلوث التربة بالنحاس

يؤدي تلوث التربة بالنحاس إلى تدهور الخواص الطبيعية والكيميائية، واهم مصادر تلوث التربة بالنحاس هي الأسمدة والمبيدات والمخلفات العضوية والزراعية، والنحاس الناتج من الصناعة ولاسيما المصانع التي توجد في اتجاه الرياح وتزداد نسبة التلوث في التربة مع الاقتراب من المصانع، إذ يزداد تركيز النحاس في الأراضي الملوثة حتى تصل إلى (٢) غم/كغم، وتقل قابلية التربة على الاحتفاظ بالنحاس مع زيادة نسبة المادة العضوية والطين في التربة، لذا يتم إصلاح الترب الملوثة بالنحاس بإضافة كل من الجير والمادة العضوية والفوسفات.

لوحظ وجود ارتفاع في تراكيز المعادن الثقيلة في التربة مثل النحاس وخاصة في الترب المروية بمياه المجاري والتي تنتقل بدورها إلى النبات ثم إلى الإنسان المستهلك النهائي للسلسة الغذائية.

يؤدي ارتفاع درجة حرارة الهواء إلى زيادة التبخر وجفاف التربة وخاصة في فصل الصيف مؤديا إلى بقاء الملوثات في هواء المنطقة الملوثة وعدم انتشارها مما يزيد من معدل الغبار المتساقط

تأثيرات النحاس الصحية

سجلت الو سمية للنحاس كملوث غذائي منذ عام (١٧٨٥) إذ وصفت الأعراض الناتجة عن تناول كمية من المخللات التي احتوت على أملاحه نتيجة لحفظها في أوعية نحاسية، اعجبها التسمم به نتيجة تناول أغذية أو مشروبات محتوية على تراكيز ضئيلة من النحاس، وقد سجلت في عام (١٩٦٨) ثلاثون حالة تسمم حاد بالنحاس نتيجة تناول شاي مصنوع من ماء ملوث به، إذ احتوى الشاي على(٣) ملغم من النحاس في كل(١٠٠) سم^{3} منه يؤدي تناول كميات كبيرة من النحاس والتي يكون مصدرها هو الأغذية المحفوظة في أواني مصنوعة من النحاس إلى تراكمه في الأنسجة ولاسيما في الكبد، ثم يتحرر بدوره إلى الدم مسببا الانحلال الدموي وحدوث اليرقان Jaundice. وكذلك استنشاق المخلفات الصناعية التي يدخل فيها النحاس كمادة أولية أو تناول الماء الملوث بهذه المخلفات قبل معالجتها يؤدي إلى الانحلال الدموي.

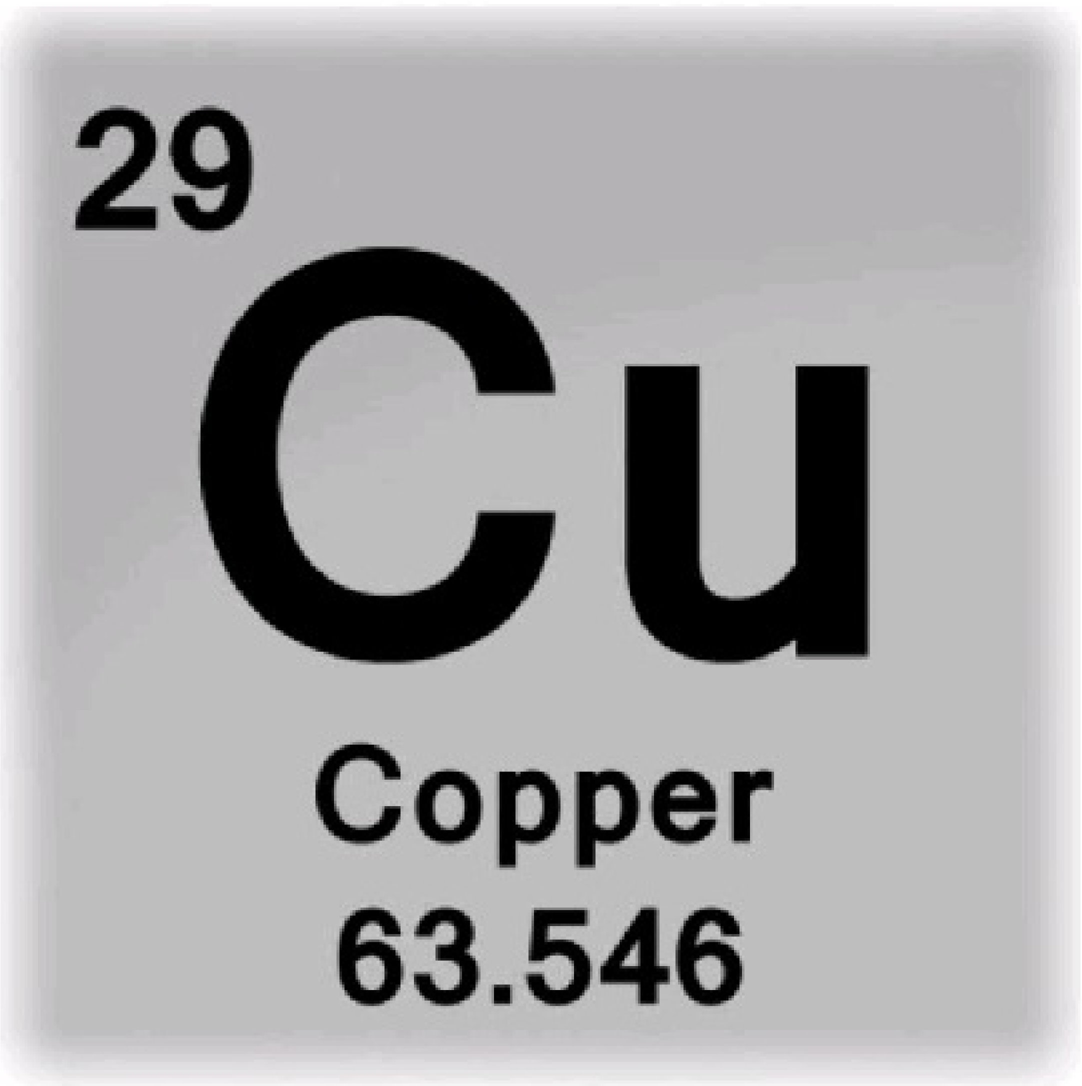
من حالات التسمم بالنحاس هي الحالة الناتجة لدى العمال الزراعيين الذين استخدموا مسحوق بورد و Bordeux Mixture لمكافحة أمراض العنب، حيث يحتوي على (١-٢.٥%) من كبريتات النحاس، إذ استنشق العمال غبار المسحوق أثناء الرش، وتتشابه أعراضه مع حالة الالتهاب الرئوي، والذي يتطور إلى الإصابة بسرطان الرئة

أعراض التسمم بالنحاس هي الغثيان والتقيؤ والإسهال وخاصة عند الأطفال وفقدان الشهية والوزن، والسعال وخفقان القلب وقصور كلوي حاد ثم الموت.

أهم الأغذية التي تحتوي نحاس

النباتية: الأفوكادو، العدس، المكسرات، الفستق السوداني، الزبيب، فول الصويا، السبانخ، الشوفان

الحيوانية: السمك، الكبد، المحار، السلمون


29
Cu
Copper
63.546

الفصل السادس عشر

البورون

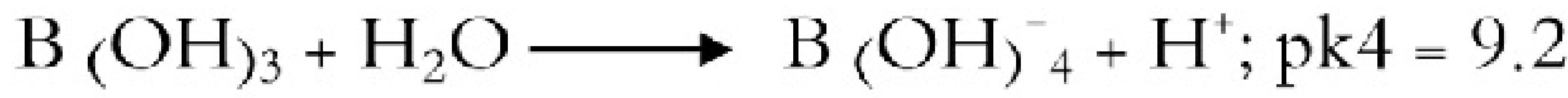
استهلال

- مهم لجميع الكائنات الحية
- استخدم البوراكس منذ العهد الروماني، الاهتمام به عام ١٩٣٩
- تسعة مركبات تحتوي البورون مهمة في علاج السرطان
- يوجد في التربة بمعدلات تتراوح بين ٥-١٥٠ جزء بالمليون، وأعلى محتوى في الترب المالحة والترب المتكونة من أصل بحري
- يوجد البورون في مركبات عضوية ومعدنية
- تتراوح كميته في النبات ١-١٠٠ جزء بالمليون
- يمتص البورون في صورة بورات BO^{-2}

بورون التربة Soil Boron

إن محتوى الترب من البورون الكلي هو بين ٢٠-٢٠٠ملغم/كغم من الوزن الجاف للتربة، ومعظمه غير جاهز للامتصاص من قبل النبات. الجزء الجاهز من عنصر البورون (الذائب في الماء الحار) في التربة يجهز بشكل مناسب بالبورون وبمعدل ٠.٠٥-٢.٠ ملغم B/لتر معادن التربة التي تحتوي على البورون تضم Tourmaline (٣٠-٤٠ملغم B/كغم)، والبورون فيه غير قابل للذوبان بدرجة كبيرة، وكذلك يوجد في Hydrated B Minerals بشكل قابل للذوبان. البورون الذائب يتكون بشكل رئيس من حامض البوريك $[B(OH)_3]$ الذي يكون تحت معظم ظروف درجة تفاعل التربة (pH4-8) غير متأين (Undissociated)، ولذا فان البورون لا يشابه بقية العناصر الغذائية التي تتواجد في محلول التربة بصورة أيونية (Ionized Form) والسبب الذي يعود إليه غسل B من التربة بصورة سهلة وسريعة هو حقيقة أن حامض البوريك يتواجد بصورة غير متأينة في محلول التربة، أنه اكثر من ٦٠٪ من البورون المضاف لا يبقى في الطبقة السطحية للترب Podzolic بعد خمسة أشهر من الإضافة. بخلاف المناطق الرطبة البورون ربما يتجمع في المناطق الجافة وعند مستويات سامة في الطبقات العليا من التربة بسبب غياب عمليات البزل والصرف، وان استصلاح مثل هذه الترب يحتاج إلى ما يقرب من ثلاثة أضعاف كمية الماء التي تحتاجه عملية استصلاح الترب الملحية.

البورون حامض ضعيف جداً (Monobasic Acid) ويعمل مثل Lewis Acid في استقبال أيون الهيدروكسيل (OH^-) ليكون أيون البورات (borate ion).



$$B(OH)_3 + H_2O \longrightarrow B(OH)^-_4 + H^+; pk4 = 9.2$$

القيمة العالية لل pK تفسر بان تكون الانيون $B(OH)^-_4$ ذا تأثير معنوي فقط عند القيم العالية لدرجات تفاعل التربة، ولذا فان عملية الإدمصاص السطحي للبورون تعتمد تقريباً على درجة تفاعل التربة. إدمصاص البورون يزداد عند درجة تفاعل التربة بين ٥-٩، ويكون ذلك على حساب تركيز البورون في محلول التربة، ويقل الإدمصاص عندما تكون درجة التفاعل أعلى من ٩ وذلك بسبب التزاحم مع OH^-، إن السيطرة على تركيز البورون وكميته في محلول التربة من خلال تفاعلات إدمصاص البورون، يكون ذات أهمية كبيرة في نمو النبات مادام هناك استجابة مباشرة لتركيز البورون في محلول التربة وليس للبورون المدمص على سطوح التربة.

صور البورون في التربة

١- معادن التربة: يدخل البورون في تركيب كثير من معادن التربة وبالتالي فهو ينتشر في كثير من الترب وأكثر المعادن السيليكاتية شيوعاً والتي تحتوى على البورون هو معدن التورمالين Tourmaline- Flourin Borosilicate ونسبة البورون به من ٣-٤%، وهذا المعدن مقاوم لعمليات التجوية وبالتالي تعتبر صور البورون في المركبات المعدنية غير ميسرة للامتصاص بواسطة النبات مباشرةً ما لم يتحرر ويصبح ذائباً في محلول التربة.

٢- البورون المدمص: يُدمص البورون على أسطح غرويات التربة التي تحمل شحنة موجبة سواء كان على صورة أيون بورات $B(OH)_4^-$ أو على هيئة حمض البوريك H_3BO_3 ويحدث الإدمصاص على الحواف المكسورة لمعادن سيليكات الألومنيوم أو على الأكاسيد السداسية الحرة مثل هيدروكسيدات الألومنيوم والحديد. ويحدث الإدمصاص لحامض البوريك في الترب القاعدية يصبح البورون على صورة أيون البورات $B(OH)_4^-$ المتأدرتة في محلول التربة وبالتالي يحدث لهذه الأنيونات إدمصاص على أسطح غرويات التربة عن طريق تبادله مع أنيون الهيدروكسيل، ويزداد إدمصاص البورون في الترب القاعدية والجيرية بهذه الطريقة نظراً لزيادة تكوين أنيون البورات في مثل هذه الأراضي، وهذا يقلل من فقد البورون عن طريق الغسيل. وعموماً يُعتبر البورون المدمص مخزوناً أساسياً للبورون في التربة نظراً لوجود حالة من الاتزان بينه

00:21:53

وبين البورون الذائب في محلول التربة حيث يمكن تبادله مع أنيونات الهيدروكسيل الذائبة في محلول التربة وبالتالي يمكن أن يعوض انخفاض تركيز البورون في محلول التربة نتيجة امتصاص النبات له.

٣- البورون المرتبط مع المادة العضوية: يوجد البورون بكميات محسوسة مرتبطاً مع المادة العضوية. وقد يرتبط البورون مع المجاميع الفعالة للمواد الدُبالية مثل مجموعات الكربوكسيل، والهيدروكسيل مكوناً معقدات مختلفة في درجة ذوبانها. ويمكن أن يحدث انطلاق للبورون من هذه المعقدات بعد عملية التحلل بفعل الكائنات الدقيقة.

٤- البورون الذائب في محلول التربة : وتُعتبر هذه الصورة من أهم الصور من حيث درجة صلاحيتها للنبات. ويوجد البورون أساساً على صورة حامض البوريك H_3BO_3 وهذا الحامض غير قابل للتأين في ظروف الـ pH العادية الترب الزراعية ولذلك يكون عُرضة للفقد من التربة عن طريق عملية الغسيل. بينما تحت ظروف الترب القاعدية ومع ارتفاع الـ pH يتحد حامض البوريك مع الماء ويتكون أنيون البورات المتأدرتة $B(OH)_4^-$ والتي يحدث لها إدمصاص في المواقع الموجبة الشحنة أو بالتبادل مع مجموعة OH^- على أسطح غرويات التربة.

البورون الكلى

يتراوح تركيز البورون في الترب المختلفة بصفة عامة بين ٢ إلى ١٠٠ جزء في المليون، بمتوسط عام ٣٠ جزء في المليون. وتعتبر الترب الناشئة من مادة أصل حامضية (صخور حامضية التأثير)- الترب المتكونة بفعل ترسيبي عن مياه عذبة، وأيضا الترب خشنة القوام وكذلك الترب الفقيرة في المادة العضوية تكون كلها فقيرة في محتواها من البورون الكلى. والعكس في الترب الغنية بالطين الصفائحى والترب الرسوبية الناعمة القوام تكون ذات محتوى مرتفع من البورون الكلى. وأيضا تكون الترب الجيرية والترب المتأثرة بالأملاح والترب المتاخمة للبحار(تركيز البورون في مياه البحار ٤.٧ جزء في المليون) ذات محتوى مرتفع من البورون. وعنصر البورون عُرضة للغسيل بسهولة وبالتالي يمكن القول بأن الترب الواقعة في المناطق الجافة وشبه الجافة تكون ذات محتوى مرتفع من البورون بالمقارنة بالترب الواقعة في المناطق الرطبة. وعموماً لا يُعتبر البورون الكلى في التربة دليلاً جيداً على كمية البورون الميسر للنبات. وذلك لوجود العديد من العوامل المؤثرة على تيسر البورون.

البورون الميسر

يُعتبر البورون المستخلص من التربة بالماء الساخن معبراً تماما عن البورون الميسر للنبات ويتراوح تركيزه بين ٠.١ و ٣.٠ جزء في المليون وتعتبر الترب الجافة ذات القيم الأعلى من هذا المحتوى. ويوجد العديد من العوامل المؤثرة على تيسر البورون

١- رقم الـ pH : يوجد ارتباط بين تيسر البورون في التربة الزراعية ورقم الـ pH لهذه التربة، حيث وجد أن البورون الذائب يزداد مع ارتفاع رقم الـ pH من ٤.٧ إلى ٦.٧ بينما تقل الكمية الميسرة بارتفاع الرقم عن ذلك فيما عدا ا الترب الصودية الملحية، وفي الترب الجيرية يكون تأثير الـ pH المرتفع هو المؤثر على ظهور نقص البورون على النبات النامية بها.

٢- المادة العضوية: هناك ارتباط موجب بين محتوى التربة من المادة العضوية وبين البورون الميسر للنبات، حيث يرتبط البورون بالمادة العضوية عن طريق المجاميع الفعالة مثل المجاميع الكربوكسيلية والهيدروكسيلية مكوناً معقدات عضوية مختلفة في درجة ذوبانها، ولكن يمكن القول بأن مع تحلل هذه المواد بفعل الكائنات الدقيقة ينطلق البورون الذائب. ويزداد تأثير المادة العضوية على تيسر البورون في الترب الحامضية حيث تتكون معقدات ذائبة من البورون والمادة العضوية.

٣- قوام التربة: بصفة عامة تقل كمية البورون الميسر للنبات في الترب خشنة القوام سريعة النفاذية، بالمقارنة بالترب ناعمة القوام. و نتيجة لقلة السعة التبادلية الأيونية للترب الرملية وبالتالي قلة أسطح الإدمصاص للبورون فإنه يحدث فقد لهذا العنصر عن طريق الغسيل وخاصةً في الترب الرطبة. وفي الترب الطينية يلعب نوع الطين السائد دور مهم في إدمصاص البورون، حيث وجد أن معدن الإيليت ذو قدرة مرتفعة على إدمصاص البورون يليه معدن المونتيموريللونيت وأقل هذه المعادن هو معدن الكاؤلينيت. وعموماً يعتبر القوام ذا تأثير أقل على تيسر البورون بالمقارنة بتأثير المادة العضوية أو الـ pH.

٤- رطوبة التربة: مع جفاف التربة تزداد الكمية المثبتة من البورون، وعلى ذلك فإن حالة الجفاف المؤقت للتربة قد تعيق حصول جذور النبات على البورون المدمص بكثرة على أسطح غرويات التربة ، وبالتالي تظهر حالة أعراض النقص على النبات. ومع زيادة الرطوبة يزداد معدل حركة البورون الذائب إلى سطح الجذور وبالتالي يزداد تيسره وانتشاره.

٥- تأثير العناصر الأخرى: وجد أن هناك تضاد Antagonises بين الكالسيوم والبورون، وعلى ذلك يقل درجة تيسر البورون في الترب القاعدية، يمكن تقليل السمية بالنسبة للبورون بإضافة الكالسيوم للترب الغنية بالبورون الذائب.

البورون في النبات Boron in Plant

لقد مضى أكثر من ٧٠ سنة على عد البورون من العناصر الغذائية الضرورية للنبات. إن دور البورون في تغذية النبات لازال اقل فهماً من كل العناصر الغذائية، وهذا حتى في مصطلح (المولر) فان هناك حاجة له على الأقل من قبل نباتات ذوات الفلقتين بكميات كبيرة من بين العناصر الصغرى. لم يظهر بأنه عنصر ضروري للفطريات ولمعظم البكتريا وليس هناك أدلة في النباتات الراقية على أن البورون هو جزء من أي أنزيم أو منشط له. انه سهل نسبياً لإحداث أعراض نقص البورون بأن تظهر بسرعة سوية مع تغيرات متمييزة في النشاط الحيوي. من الصعوبة جداً معرفة الأدوار الرئيسة للعنصر الغذائي من حيث العلاقة بهذه الاستجابات. بالفعل احد المشاكل في معرفة دور B في النبات لكون أن معظم ما هو معروف حول دور البورون في تغذية النبات قد تم التعرف عليه وذلك عندما يوقف التجهيز بالبورون أو إعادة التجهيز به بعد حالة النقص. المقترح حول وظيفة البورون في النباتات يضم نقل السكريات، تكون جدار الخلية، التشخين باللكنين (Lignification) تركيب جدار الخلية، العمليات الأيضية للكربوهيدرات ولـ RNA، التنفس، العمليات الأيضية لـ IAA وللفينول، الأغشية، تثبيت النيتروجين، والعمليات الأيضية للـ Ascorbate وتحسين سمية الألمنيوم (Amelioration Of Al Toxicity). هناك زيادة في الأدلة بان بعض هذه التأثيرات لا تظهر بشكل أولي نتيجة لغياب B على انه تأثير ضمن حلقة من التأثيرات (Cascade Effect) أي ذات أصل ثانوي.

إن توزيع العناصر الغذائية داخل الخلية يعود بصورة وثيقة إلى وظيفة العنصر. للبورون فقط كمية محدودة من العمل حول مناطق تواجده (Compartmentation)، ولكن البورون قد وضح بأنه يتواجد في الفراغ الحر، السيتوبلازم، الفجوة وجدار الخلية. كمية كبيرة من B تتواجد في جدار الخلية مرتبطة بالبكتين ولكن في النباتات المجهزة بشكل ملائم بالبورون فان ٦٠٪ من البورون الكلي يمكن أن يكون بصورة ذائبة كحامض البوريك ومركبات البورون الذائبة. كمية ملحوظة يمكن أن توجد في الـ Symplasm كمركبات البورون الذائبة وهذه تضم جزيئات البورون المخصصة للنقل، وPolyols في الأنابيب المنخلية والتي تتوسط نقل البورون في اللحاء في بعض أنواع النباتات. إلى جانب هذه الجزيئات شيء قليل معروف عن مركبات البورون الذائبة في الخلايا. يمكن أن يكونوا متواجدين بتراكيز عالية وجاهزة بصورة مباشرة للوظائف الفسيولوجية الممكنة.

00:22:00

هناك الكثير بحاجة إلى تعلمه حول دور B في النباتات. بين الحقائق والنظريات وبصورة خاصة وجه الانتباه للتأثيرات الفسيولوجية العائدة للبورون إذ أن الأدلة لاتزال غائبة.

وعلى الرغم من أن احتياجات النباتات المختلفة من البورون قليلة جداً إلا أن هناك مدى واسع بين النباتات في الكميات المطلوبة من هذا العنصر لها، فقد دلت بعض نتائج المزارع المائية والمزارع الرملية بأن نباتات الطماطم والجزر يمكن أن تنمو بصورة طبيعية جداً في وجود البورون بتركيز منخفض جداً يصل إلى أقل من واحد جزء في المليون. بينما قد يصل تركيز هذا العنصر في هذه المزارع من ١٠ إلى ١٥ جزء في المليون لكى تنمو نباتات أخرى مثل بنجر السكر نمواً طبيعياً.

فوائد البورون للنبات

١. يسهل من عملية انتقال السكريات في النبات

٢. يحفز تكوين المواد الفينولية

٣. له دور مهم في تكوبن خلايا النبات

٤. له دور في تكوين الأحماض النووية RNA و DNA

٥. يساهم في عملية امتصاص الماء والنتح

٦. له دور في اختزال النترات داخل النبات

٧. ينظم عمل الهرمونات النباتية

٨. له دور في عملية التلقيح في الزهرة حيث يتحكم في نمو حبوب اللقاح

٩. يساهم في زيادة نشاط العديد من الأنزيمات، وضروري لانقسام الخلايا.

١٠. يزيد من مسامية الجدر وبالتالي يزيد من انتقال الكربوهيدرات، وعلى ذلك يحدث أقصى تراكم للنشا والسكر في النباتات التي تحتوى على كمية غير كافية من البورون.

١١. يلزم في تمثيل اللجنين وبعض التفاعلات الحيوية.

١٢. مهم في تمثيل البروتين والأحماض النووية وبالتالي فإن نقص البورون الممتص يؤدى إلى تراكم النترات في النبات.

١٣. ينظم النسبة بين الكالسيوم و البوتاسيوم في النبات.

تركيز البورون في النبات

تختلف النباتات فيما بينها في محتواها من البورون اختلافاً كبيراً. ووجد أن النباتات ذات الفلقة الواحدة يقل محتواها من البورون بالمقارنة بالنباتات ذات الفلقتين، حيث وجد أن البسلة – الكرنب – القرنبيط و الخردل تكون ذات محتوى عالي جزئياً من البورون. وتختلف أجزاء النبات الواحد فيما بينها في محتواها من البورون فتركيز البورون في الأوراق يكون مرتفع عنه في السيقان، ويكون أعلى تركيز داخل أجزاء الورقة نفسها في حوافها. وعموماً يقل تركيز البورون داخل النبات ككل في مراحل نموه الأولى، بينما يظل التركيز ثابت تقريباً في معظم مراحل النمو. وتعتبر النباتات ذات محتوى من البورون أقل من ١٥ جزء في المليون في حدود النباتات التي تعانى من نقص البورون و يقل عن ذلك الرقم النباتات أحادية الفلقة الجدول (٣٦). ويعتبر التركيز من ١٥ إلى ١٠٠ جزء في المليون بورون هو التركيز الملائم والكافي لنمو النبات نمواً طبيعياً دون مشاكل خاصة بالبورون، بينما بزيادة التركيز عن ٢٠٠ جزء في المليون فإن النباتات تعانى من السمية.

الجدول ٣٦: الحدود الحرجة لتركيز البورون في النباتات المختلفة بالجزء في المليون

المحصول	الجزء المأخوذ للتحليل	حدود النقص	حدود الكفاية	حدود السمية
أحادية الفلقة				
الذرة	القمة النامية	١ – ٢	٥ – ١٠	٢٥
القمح	القمة	<٤	٥	–
الشعير	القمة	<٨	٨ – ١٠	–
ذات الفلقتين				
البنجر	الأوراق	١٥ – ١٦	٢٧ – ٨٣	–
القطن	الأوراق	١٦	٣٠ – ٥٠	٥٢٢ – ١٦٢٥
الخس	الأوراق	–	٢٧ – ٤٣	٧٠ – ٨١٧
فول سوداني	الأوراق	<٢٥	–	–
بنجر السكر	الأوراق	٤ – ٢٨	٢٥ – ٥٢	–

عن ال FAO ١٩٨٣

00:22:05

احتاج النبات لعنصر البورون

تختلف النباتات في احتياجها لعنصر البورون

النباتات التي تحتاج إلى بورون عالي (أعلى من ٠.٥ جزء بالمليون)، التفاح والملفوف والقرنبيط والكرافس والثيل والجزر والشلغم والشمندر والسبانخ والفجل

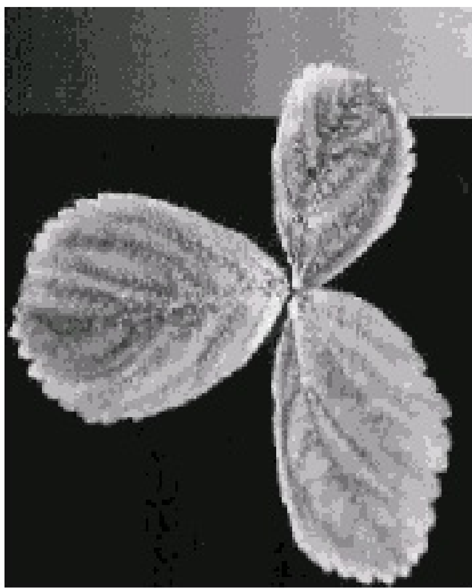
النباتات التي تحتاج إلى بورون متوسط (٠.١-٠.١٥ جزء بالمليون)، الكرز والخس والزيتون والبصل والخوخ والعرموط والبطاطا الحلوة

النباتات التي تحتاج إلى بورون منخفض(اقل من ٠.١ جزء بالمليون)، الفول والحمضيات والفراولة.

أعراض نقص البورون في النبات

بصفة عامة يمكن التوقع بظهور أعراض نقص البورون على النباتات في التربة التي تتوافر بها الخصائص التالية: انخفاض محتواها من البورون الكلي، الترب الناشئة من صخور ذات أصل حامضي، الترب الرملية الحامضية، الترب ذات المحتوى المنخفض من المادة العضوية، الترب القاعدية والجيرية والترب الواقعة في المناطق المتوسطة والغزيرة الأمطار. ومن العمليات الزراعية الري بالماء ذو المحتوى المرتفع من الكالسيوم وأخيراً التكثيف الزراعي.

يعتبر البورون من العناصر غير المتحركة داخل النبات، وعلى ذلك تظهر الأعراض أولاً على النموات الحديثة. يؤدي إلي تشوه الأطراف النامية وموت قواعد الأوراق وتشقق السيقان وتصبح الأوراق قصيرة وسميكة وسهلة التكسير وتتلف وقد يتسبب نقص البورون في ظهور عدد من الأمراض الفسيولوجية التي تصيب النبات ومنها تعفن اللب في بنجر السكر، التفاف الأوراق في البطاطس، واللب البني في اللفت، والاسمرار في القرنبيط. كذلك نتيجة لتأثير البورون على تمثيل البروتين فإن نقص البورون يؤدى إلى عدم تكوين البروتين وبالتالي عدم تكوين الأزهار وتأخر النضج، كذلك يعرقل تكوين السنابل وتتلون الأوراق الحديثة بلون أخضر مزرق داكن وتمتاز بزيادة سمكها وعدم انتظامها. كما يتأثر أيضا نمو وتطور الجذور حيث تبدو سميكة – غير نظيفة ويوجد تبرقش في قمتها.



وتختلف قدرة المحاصيل المختلفة على درجة تحمل نقص البورون. وأمكن تصنيف النباتات المختلفة تبعاً لقدرتها على تحمل التركيزات المنخفضة من البورون في التربة إلى ثلاث مجموعات كما في الجدول (٣٧).

سمية البورون

تُعتبر الحدود الفاصلة بين التركيزات الملائمة والتركيزات التي تؤدى إلى السمية بالبورون قريبة جداً، وإن الزيادة في تركيز البورون تؤدى إلى إعاقة النمو الطبيعي للنبات. وبزيادة تركيز البورون في التربة يزداد امتصاصه وبالتالي ظهور أعراض السمية والتي تتمثل في احتراق قمم الأوراق وظهور اللون الأصفر الباهت والذى ينتشر بين العروق الجانبية متجهاً إلى العروق الوسطى. وتعتبر سمية البورون مشكلة في الترب الموجودة في المناطق الجافة وخاصة في الترب الملحية الصودية والأراضي الناشئة من الترسيبات البحرية والترب التي يتم ريها بماء ذات محتوى مرتفع من البورون والترب الناشئة من مادة أصل غنية في البورون وأخيراً الاستهلاك الزائد من الأسمدة الحاملة للبورون.

جدول ٣٧: حساسية بعض المحاصيل لنقص البورون في التربة

نباتات حساسة	نباتات متوسطة الحساسية	نباتات عالية الحساسية
الفول، الشعير، الذرة الشوفان، البسلة، فول الصويا، البطاطس، الذرة الرفيعة، الأرز، القمح الجريب فروت (موالح)	الكرنب، الجذر، القطن الخس، الفجل، السبانخ الخوخ، الكمثرى و العنب	البرسيم الحجازي، القرنبيط الكرفس، بنجر السكر، بنجر المائدة، اللفت، التفاح والورد

أسمدة البورون

١. بورات الكالسيوم ١٠% بورون
٢. بورات المغنيسيوم ٢١% بورون
٣. حامض البوريك ١٧ % بورون




BORON

الفصل السابع عشر

الموليبديوم

- عرف دور هذا العنصر في تغذية النبات عام ١٩٠٠
- عدم تمثيل هذا العنصر في جسم الإنسان لأسباب وراثية أو أسباب بيئية يؤدي إلى خلل عقلي والإصابة بمرض داء الملوك
- يوجد في التربة بمعدلات تتراوح بين ٠.٠٦-٣.٥ جزء بالمليون الكلي والجاهز ٠.٢ جزء بالمليون
- يمتص في صورتين Mo^{+3} و Mo^{+6}
- يوجد في معادن الطين والمادة العضوية
- يوجد ذائب في الماء ومدمص وعضوي وبلوري

صور الموليبيديوم في التربة

١. الموليبديوم المتحد مع المعادن الأولية

٢. الموليبديوم المتحد مع المعادن الطينية

٣. الموليبديوم المتحد مع أكاسيد الألمنيوم والحديد

٤. الموليبديوم المتحد مع المواد العضوية

٥. الموليبديوم الذائب بالماء

مصادر الموليبيديوم في التربة

الكبريتيدات مثل معدن MoS_2 Molybdenite

الأكاسيد مثل معدن $Mo_3O_8.8H_2O$ Ilsemannite

العوامل المؤثرة على جاهزية الموليبيديوم في التربة

١. درجة تفاعل التربة (pH) على عكس كل العناصر الصغرى التي مر الحديث عنها، فان هذا العنصر تزداد جاهزيته بارتفاع درجة تفاعل التربة

٢. المستويات العالية من الحديديك (Fe^{+3}) والألمنيوم (Al^{+3}) توديان إلى نقص الموليبديوم

٣. المادة العضوية، يعتمد على فعالية الهايدروكسيل التي لها إلفه قوية مع الموليبديوم

٤. إضافة المصلحات إلى التربة مثل كربونات الكالسيوم يقلل من جاهزية الموليبيديوم

الموليبديوم في التربة

يوجد الموليبديوم في التربة بكميات قليلة بالمقارنة بباقي العناصر الصغرى مثل الحديد، المنغنيز، الخارصين، والنحاس. وأن الأراضي الناشئة من الصخور القاعدية تحتوى على كمية أكبر من الموليبديوم بالمقارنة بالتربة الناشئة عن الصخور الحمضية، ويوجد الموليبديوم في التربة في عدة صور وهى:

المعادن الأرضية

ومنها الموليبدنايت (MoS_2) Molybdenite، ($CoMoO_4$) Powellite ، و الفيروموليبيدايت ($Fe\ (MoO_4)_3.8H_2O$) Ferromolybdite. وأيضا يوجد هذا العنصر في تركيب بعض المعادن السيليكاتية ومنها الفلسبارات والميكا نتيجة حدوث عملية الإحلال المتماثل بين Mo^{4+} و AL^{3+} في صفيحة الأوكتاهيدرا لهذه المعادن. والموليبديوم الموجود في هذه الصورة درجة ذوبانه قليلة جداً. وفي بعض الترب وخاصةً الحامضية منها يوجد الموليبديوم مرتبط مع الأكاسيد السداسية وهذه الروابط تكون ثابتة وعلى هذا يكون الموليبديوم الموجود في هذه الصورة أيضا درجة صلاحيته للنبات قليلة جداً.

– الموليبديوم الموجود في صورة أنيون MoO_4^{2-}

والموجود على أسطح حبيبات التربة (ذات الشحنة الموجبة)، والـ Mo يكون ممسوك بروابط ثابتة وبالتالي تكون درجة تيسره للنبات قليلة.

– الموليبديوم الموجود في تركيب المادة العضوية:

يُصنف على أنه ذو أهمية من ناحية تغذية النبات.

– الموليبديوم الذائب في محلول التربة :

كميته قليلة جداً وتتوقف على رقم الـ pH للتربة حيث يزداد ذوبان هذا العنصر في الترب القاعدية.

المحتوى الكلى من الموليبديوم بالتربة :

يوجد الموليبديوم الكلى في الأرضي في مدى يتراوح من ٠.٦ إلى ٣.٥ جزء في المليون ومتوسط عام ٢.٠ جزء في المليون. ويرجع اختلاف الترب في محتواها الكلى من هذا العنصر إلى مادة الأصل التي نشأت منها هذه التربة.

الموليبديوم الميسر للنبات

تتأثر الكمية الميسرة من الموليبديوم بعدة عوامل وهى:

١- رقم pH التربة: بعكس باقي العناصر المغذية الأخرى يزداد تيسر الموليبديوم مع زيادة رقم الـ pH للتربة، وبالتالي يزداد تيسره في الترب القاعدية عنه في الترب الحامضية. ويمكن تفسير ذلك بأنه يمكن أن يحدث تبادل أنيونى في التربة القاعدية بين أنيون الموليبدات المدمص وأنيون الهيدروكسيل الذائب في محلول التربة لهذه الترب، بينما في الترب الحامضية يحدث إدمصاص له على أسطح الغرويات الأرضية وخاصة الأكاسيد السداسية للحديد والألومنيوم والتي يكون قوة الربط بها شديدة، وعلى هذا يُعتبر الإدمصاص في هذه الحالة عملية تثبيت للموليبديوم وإعاقة لتيسره للنبات.

٢- المادة العضوية: وجد أن للمادة العضوية القدرة على تكوين مركبات معقدة مع الموليبديوم Mo-OM Complexes قد تحمى الموليبديوم من التثبيت والتحول إلى صورة غير ميسرة للنبات، فبحدوث عملية المعدنة للمادة العضوية يتحول الموليبديوم إلى صورة صالحة للنبات. أيضا إضافة المادة العضوية للأرض يعزز من تيسر الموليبديوم الموجود أصلاً بالتربة Native Mo.

٣- قوام التربة: يلعب قوام التربة دوراً مهماً في كمية الموليبديوم الميسرة للنبات، حيث وجد أن التربة الرملية تعانى من نقص الموليبديوم وذلك لسهولة فقده من محلول التربة وذلك لعدم وجود أسطح إدمصاص لهذه التربة. والعكس في الترب ثقيلة القوام حيث يحدث إدمصاص للموليبديوم على أسطح غرويات التربة وتختلف قدرة التربة الطينية على إدمصاص الموليبديوم حسب نوع معادن الطين السائدة

٤- كربونات الكالسيوم: وجد أن كربونات الكالسيوم تلعب دوراً مهماً في تيسر الموليبديوم للنبات وخاصةً في الترب الحامضية، ويفسر ذلك بتأثير كربونات الكالسيوم على رفع رقم الـ pH للتربة مما يزيد من انطلاق الموليبديوم المدمص على أسطح غرويات التربة إلى محلول التربة.

٥- التداخل بين الأيونات المغذية الأخرى: يعتبر وجود الفوسفات الذائبة في محلول التربة عامل مشجع على ذوبان الموليبدات وامتصاصها بواسطة النبات، وفي بعض الأحيان ترتبط سمية الموليبديوم للنبات بزيادة كميات الفوسفات الذائبة في محلول التربة. والعكس في حالة زيادة الكبريتات الذائبة في محلول التربة حيث يحدث إعاقة لامتصاص الموليبدات بواسطة النبات ويُفسر ذلك بحدوث تنافس بين أنيون الكبريتات SO_4^{2-} وأنيون الموليبدات MoO_4^{2-} على مواقع الإدمصاص على أسطح الجذور خلال عملية الامتصاص . وهناك أيضا ظاهرة التضاد Antagonism بين الموليبديوم والنحاس، حيث إن الزيادة من النحاس الميسر يؤدى إلى خفض الكمية الممتصة من الموليبديوم بواسطة النبات، وأمكن معالجة السمية

الناشئة عن المولبيديوم بإضافي النحاس إلى التربة. و أخيراً فإن الزيادة من أكسيد الحديديك Fe_2O_3 تسبب نقص في المولبديوم الميسر للنبات.

٦- رطوبة التربة : يزداد المولبيديوم الميسر للنبات في التربة بزيادة رطوبة تلك التربة.

المولبيديوم في النبات

يوجد هذا العنصر بكميات قليلة جداً في النبات بالمقارنة بالعناصر المغذية الأخرى، وهذا يدل على أن احتياجات النبات من المولبيديوم تكون قليلة وهذا لا ينفي ضروريته للنبات. حيث يلعب هذا العنصر دوراً مهماً في تمثيل النيتروجين في النبات ويرجع ذلك لأن نيتروجين النترات موجود في درجة عالية من التأكسد NO_3^- في حين أن الأحماض الأمينية والمركبات العضوية الأخرى تحتوى على النيتروجين في درجة عالية من الاختزال. وبالتالي فاختزال النيتروجين هو إحدى خطوات تخليق الأحماض الأمينية والمركبات النيتروجينية الأخرى في حالة ما إذا كانت النترات هي مصدر النيتروجين. ويتمثل دور المولبيديوم في اختزال النترات بواسطة إنزيم النيتروجينيز Nitrogenase و إنزيم Nitrate reductase في إنه يعمل كعامل مساعد لهذه الأنزيمات، حيث يحتوى كل جزئ من إنزيم النيتروجينيز على ذرتين موليبدنيم والتي تكون مرافقة للحديد(من ٢٤ - ٣٦ ذرة حديد لكل جزئ إنزيم)، وبعض هذه الأنزيمات تكون عناقيد من الحديد والكبرىFe – 4S Cluster كما في الفيرودوكسين Ferredoxin، ويدخل المولبيديوم في عملية الاختزال للنيتروجين مباشرةً، في حين يكون الحديد ناقل للإلكترونات. وعلى ذلك يعتبر هذا العنصر عامل مساعد في تثبيت النيتروجين N_2 إلى NH_3 ومن هنا يكون المولبيديوم عنصراً مهماً للنباتات البقولية والبكتريا المثبتة للنيتروجين. وبالتالي يمكن القول بأن احتياج النبات للمولبيديوميزداد في حالة زيادة التسميد النتراتي، كذلك وجد أن المولبيديوم يلعب دوراً في تكوين حمض الأسكوربيك.

المولبيديوم في فسلجه النبات

المولبيديوم يمتصه النبات على شكل مولبيدات، والامتصاص يقل بالتأثير التزاحمي للكبريت (SO_4^{2-}). هذه العلاقة قد أكدت في كل من تجارب المحاليل وفي التجارب التي ينمو النبات في التربة. العلاقة مع امتصاص الفسفور ليس واضحة بدرجة قاطعة. الأدلة بان المولبيدات بانها ترتبط وتنتقل عبر غشاء البلازما لما بوساطة الربط بالفسفور وجهات النقل. امتصاص $^{99}MoO_4^-$ وانتقاله قد وجد بانها تتحفز بدرجة كبيرة بوساطة الجذور لنباتات الطماطم التي هي تحت إجهاد الفسفور. إعادة تجهيز الفسفور خفض من امتصاص $^{99}MoO_4^-$. والتداخل الأيوني الذي فسر سابقاً يكون مقترحاً للامتصاص الحيوي. والصورة

أو الشكل الذي ينقل عليه المولبيديوم داخل النبات غير معروف. على أن من الممكن بأن المولبيديوم يتحرك داخل الجزء الخشبي من النبات على صورة MoO_4^{2-}، أو على شكل مركب من أحماض أمينية و Mo-S أو على شكل مركبات المولبيدات مع سكريات أو مركبات Polyhydroxy. المولبيديوم يوجد في الأصل في اللحاء وفي أوعية النسيج الحشوي ذي الخلايا الحية (Vascular Parenchyma). ويكون المولبيديوم في هذه الحالة متوسط الحركة في النبات. تركيز مادة النبات من المولبيديوم يكون اعتيادياً قليل إذ إنه يكون اقل من ١ ملغم/كغم في المادة الجافة. النقص يكون اعتيادياً عند اقل من ٠,٢ ملغم/كغم مادة جافة. وكون المحتوى قليلاً اعتيادياً يعود إلى المستوى القليل جداً من MoO^{2-}_4 الموجود في محلول التربة. وخلافاً لبقية العناصر الصغرى بأن المولبيديوم يمكن أن يمتصه النبات بكميات كبيرة بدون أن يحدث تأثيرا سمياً، ولقد وجد بان الكمية تصل إلى ٢٠٠ -١٠٠٠ ملغم/كغم. أنواع النباتات نعم تختلف في حساسيتها لسمية Mo بالرغم من أن سمية Mo في النباتات في الحقل هي غير مألوفة. الجدول (٣٩) يبين تراكيز Mo في نباتات مختلفة محسوباً بالميكروغرام Mo / غرام من المادة الجافة

الجدول ٣٩: تراكيز Mo في نباتات مختلفة محسوباً بالميكروغرام Mo / غرام من المادة الجافة

أوراق الجت	٠,٣٤
أجزاء نبات الفاصوليا العليا	٠,٤٠
أوراق السبانخ	١,٦٠
أجزاء نبات البنجر السكري العليا	٠,٧٢
الأوراق السليمة لنبات الطماطم	٠,٦٨
الأوراق في حالة نقصان لنبات الطماطم	٠,١٣

التركيز الواطئ جداً من Mo في النباتات السليمة يعني بان الطلب الفسيولوجي هو أيضا واطئ. المولبيديوم هي جزء ضروري لأنزيمين أساسين في النباتات وهما Nitrate Erductase و Nitrogenase وان الميكانيكية المؤثرة لكلا الأنزيمين تعتمد على تغير تكافؤ Mo. الأنزيم

Nitrate Reductase الـذي يعمـل علـى اختـزال NO^{-}_{3} إلى NO^{-}_{2} ويحصـل ذلـك في السايتوسول. هو أنزيم مزدوج بثلاثة الكترونات تقوم بنقل مجموعة Prosthetic لكل وحدة ثانوية من heam, Mo، وFlavin. في الاختزال الالكترونـات تنتقـل بصـورة مباشـرة مـن Mo إلى NO_3. أوراق النباتات التي تعاني من نقص Mo تكون ذات نشاط واطئ منNitrate Reductase الذي يمكـــن ان يحـــدث بوســـاطة تســـريب (Infiltration) Mo. إن حـــث نشـــاط Nitrate Reductasc يمكن ان تستعمل بوصفها مؤشراً للحالة التغذوية بالموليبدنيوم في النباتات. في النباتات المجهزة بـ NH_4-N لوحدها فإن احتياج Mo يكون اقل وأن أعراض نقص Mo تكون اقل قوة أو لا تظهر.

الأنزيم Nitrogenase الذي يوجد في العقد الجذرية للبقوليات ولغير البقوليات يتركب من بروتينين أنزيمين فلزين هما البروتين Mo-Fe-S والبروتين العنقودي FeS. الإلكترونات من الفريدوكسن المختزل تنتقل بوساطة البروتين Fe إلى البروتين Mo-Fe الذي منه الإلكترونات تنتقل مباشرة إلى N_2 للتأثير في اختزالها NH_3. الاحتياجات من MO للبقوليات ذات العقد الجذرية وللبكتريا المثبتة لـ N_2 ذات المعيشة الحرة هي عالية. الذي أوجد ضرورة Mo لتثبيت N_2 بوساطة *Actinomycse alni* التي في العقد الجذرية، من النتائج التي تم الحصول عليها من بادرات الشجر الحرجي الذي يألف الماء Alder Seedling النامية في تربة تعـاني مـن نقص Mo والمجهزة وغير المجهزة بالموليبـدنيوم. في غيـاب Mo فالنبات يصبح يعاني من نقص N وإن كان هناك تكاثر (Proliferation) للعقد الجذرية الصغيرة جداً. وعندما يجهـز Mo فإن عـدد العقـد الجذرية قد انخفض بدرجة كبيرة ولكـن وزن العقـد الجذرية/ أصيص قد ازداد بصورة كبيرة كما حصل أيضا مع وزن الجذور والأجزاء العليا وتركيز N في الأجزاء العليا للنبات.

تركيز المولبيديوم في النبات

يختلف تركيز المولبيديوم اختلافاً كبيراً بين النباتات المختلفة. فهناك بعض النباتات يكون تركيز هذا العنصر في الأجزاء الخضرية بها أقل من واحد جزء في المليون ومنها البرسيم الحجازى (٠.٣٤)، الشعير (> ٠.٠٣)، الفول (٠.٠٤) و الطماطم (٠.٦٨). وهناك نباتات يكون تركيز المولبيديوم مرتفع في أوراقها ومنها القطن (١١٣ جزء في المليون)، وبصفة عامة يكون التركيز في معظم النباتات منحصر بين ٠.١ و ٢.٠ جزء في المليون. ويجب التذكر بأن الجزء النباتي المأخوذ كعينة نباتية لتقدير المولبيديوم يكون ذات

أهمية كبرى نتيجة لاختلاف تركيز هذا العنصر في الأجزاء المختلفة لنفس النبات، فمثلاً وجد أن أوراق النبات تحتوى على كمية أكبر من الموليبديوم بالمقارنة بالسيقان لنفس النبات، وأكثر من ذلك نجد أن منتصف الورقة حول العرق الأوسط (منطقة دعامة الورقة) كذلك حواف الورقة تحتوى على كميات أكبر من الموليبديوم بالمقارنة بباقي أجزاء نفس الورقة.

الحدود الحرجة للموليبديوم في النبات

على الرغم من اختلاف تركيز الموليبديوم في الأنواع المختلفة من النباتات، لكن يمكن القول فإن هذه النباتات تستجيب للمعاملة بهذا العنصر إذا كان تركيزه داخل النبات أقل من ٠.١ جزء في المليون (وهو حدود النقص داخل النبات). ويمكن للنباتات أن تتحمل التركيز المرتفع من هذا العنصر، ولكن زيادة التركيز في نباتات العلف عن ١٥ جزء في المليون يؤدى إلى حدوث مشاكل صحية مع الحيوانات التي تتغذى على تلك الأعلاف ويسبب ظهور مرض يسمى "Molybdenosis" أو Teat disease.

أعراض نقص الموليبديوم على النباتات

بما أن الموليبديوم يدخل في صميم عمليات ميتابوليزم النيتروجين N – metabolism داخل النبات، فعلى ذلك تكون أعراض نقص هذا العنصر مشابهة لأعراض نقص النيتروجين، وهذا التشابه مع أعراض نقص النيتروجين يكون واضحاً في النباتات البقولية، فبنقص الموليبديوم من وسط نمو تلك النباتات يؤثر على كمية النيتروجين المثبتة بواسطة البكتريا الموجودة في العقد الجذرية بجانب تأثيره على عملية اختزال النترات داخل النبات. ونقص الموليبديوم يؤدى إلى إعاقة النمو الطبيعي للنبات، والأوراق تصبح شاحبة اللون وفي النهاية يحدث الذبول لتلك الأوراق. كذلك يسبب نقص هذا العنصر مرض البقع الصفراء Yellow Spot في الموالح و مرض الذيل السوطى Whip Tail في العائلة الصليبية، وتظهر الأعراض بوضوح على نبات القرنبيط في التواء الأوراق ضد عقرب الساعة Counter Clockwiss ونمو غير طبيعي لعروق الأوراق ويعجز النبات عن تكوين رؤوس القرنبيط.

الموليبديوم في تغذية النبات

يوجد هذا العنصر بكميات قليلة جداً في النبات بالمقارنة بالعناصر المغذية الأخرى، وهذا يدل على أن احتياجات النبات من الموليبديوم تكون قليلة وهذا لا ينفي ضروريته للنبات.

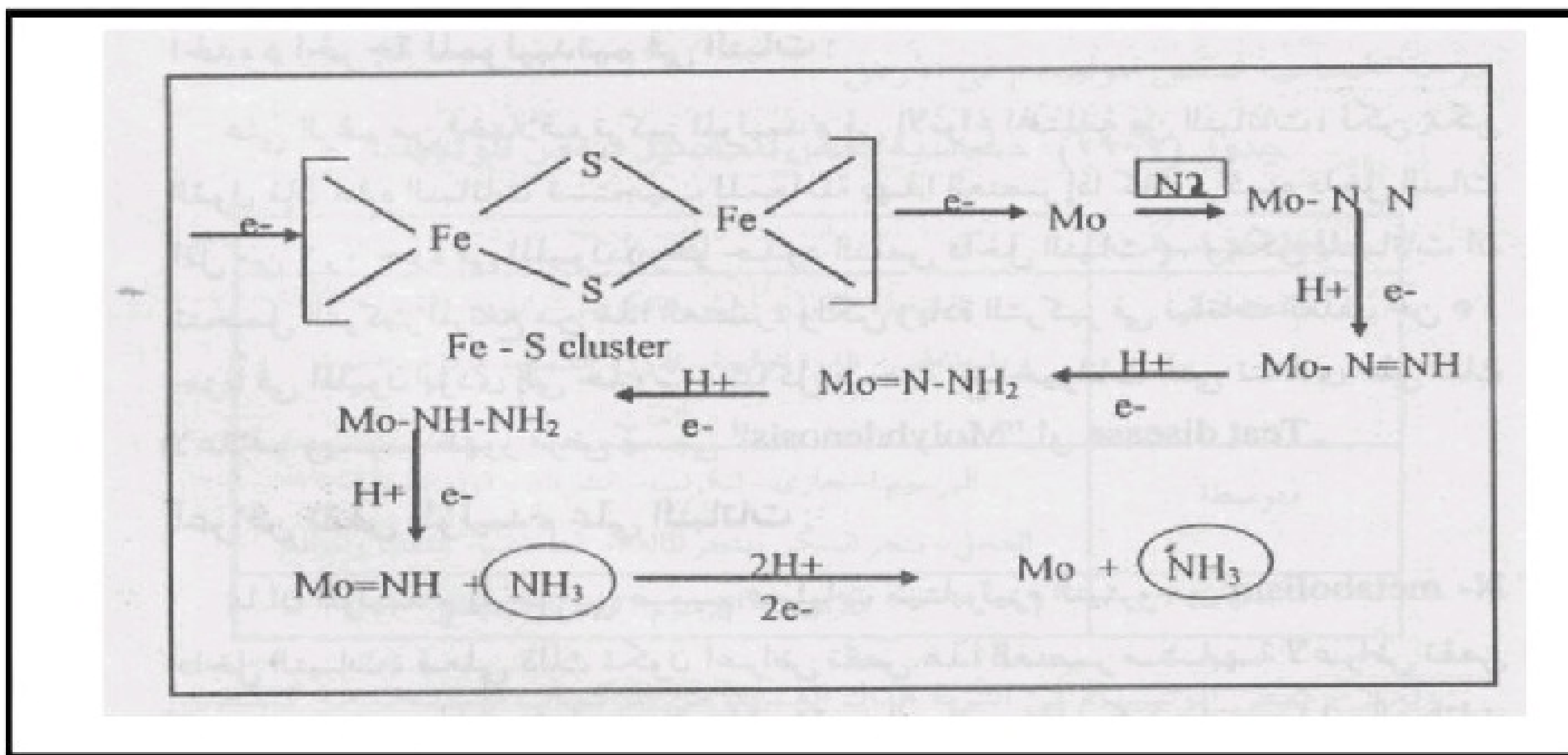
١. حيث يلعب هذا العنصر دوراً مهماً في تمثيل النيتروجين في النبات ويرجع ذلك لأن نيتروجين النترات موجود في درجة عالية من التأكسد NO_3^- في حين أن الأحماض الأمينية والمركبات العضوية الأخرى

تحتوى على النيتروجين في درجة عالية من الاختزال. وبالتالي فاختزال النيتروجين هو إحدى خطوات تخليق الأحماض الأمينية والمركبات النيتروجينية الأخرى في حالة ما إذا كانت النترات هي مصدر النيتروجين.

ويتمثل دور المولبيديوم في اختزال النترات بواسطة إنزيم النيتروجينيز Nitrogenase و إنزيم Nitrate reductase في إنه يعمل كعامل مساعد لهذه الأنزيمات، حيث يحتوى كل جزئ من إنزيم النيتروجينيز على ذرتين موليبدنيم والتي تكون مرافقة للحديد(من ٢٤ - ٣٦ ذرة حديد لكل جزئ إنزيم)، وبعض هذه الأنزيمات تكون عناقيد من الحديد والكبرى Fe - 4S Cluster كما في الفيرودوكسين Ferredoxin، كما يوضحها الشكل حيث يلعب دوراً هاما في تحول النترات إلي أمونيا داخل الخلية تمهيداً لعملية بناء الأحماض الأمينية والبروتينات.

٢. يدخل المولبديوم في عملية الاختزال للنيتروجين مباشرةً، في حين يكون الحديد ناقل للإلكترونات. وعلى ذلك يعتبر هذا العنصر عامل مساعد في تثبيت النيتروجين N_2 إلى NH_3 ومن هنا يكون المولبيديوم عنصراً مهماً للنباتات البقولية والبكتريا المثبتة للنيتروجين. وبالتالي يمكن القول بأن احتياج النبات للمولبيديوم يزداد في حالة زيادة التسميد النتراتى.

٣. كذلك وجد أن المولبيديوم يلعب دوراً في تكوين حمض الأسكوربيك.



شكل يبين دور المولبيديوم في اختزال النيتروجين إلى أمونيا

معالجة نقص المولبيديوم

تختلف النباتات فيما بينها في درجة حساسيتها لنقص هذا العنصر في التربة، حيث تعتبر نباتات العائلة الصليبية والبقولية من أكثر النباتات احتياجاً للمولبيديوم حيث تتأثر بنقص المولبيديوم في التربة. بينما

نباتات الحبوب تنمو نمواً طبيعياً تحت هذه الظروف من نقص هذا العنصر. والجدول (٤٠) يبين مدى اختلاف النباتات في درجة الحساسية لنقص المولبيديوم في التربة.

الجدول ٤٠ : حساسية بعض المحاصيل لنقص المولبيديوم

درجة الحساسية	المحصول
منخفضة	الشعير–الفول– الجذر– الكرفس– الذرة– القطن–البطاطس– الذرة الرفيعة– الأرز– القمح– التفاح– الخوخ والعنب
متوسطة	البرسيم الحجازى– الكرنب– الشوفان– فول الصويا–الفجل– بنجر السكر– بنجر المائدة – الطماطم– اللفت والموالح
عالية	القرنبيط– البرسيم– الخس والسبانخ

ولعلاج نقص المولبيديوم في التربة هناك العديد من المركبات المستخدمة كمصدر للمولبيديوم يبينها الجدول (٤١).

الجدول ٤١ : أهم المركبات السمادية المستخدمة كمصدر للموليبدنيم

المصدر	التركيب الكيميائي	% للموليبدنيم
موليبدات الصوديوم	$Na\ MoO_4.2H_2O$	٣٩
موليبدات الأمونيوم	$(NH4)_6\ Mo_7O_{24}.4H_2O$	٥٤
ثالث أكسيد المولبيديوم	MoO_3	٦٦

ومن ناحية طريقة ومعدل إضافة الأسمدة التي تحوى على المولبيديوم فهي تختلف حسب نوع التربة وقدرتها على تثبيت هذا العنصر كذلك على نوع المحصول نفسه. والطرق المستخدمة هي الإضافة الأرضية وفيها يضاف المولبيديوم بمعدل ٧٠ إلى ٢٠٠ جرام موليبدنم / هكتار، وهذا المعدل كافي لمحاصيل العلف والبقوليات والعديد من محاصيل الحقل، بينما هناك بعض محاصيل الخضر ومنها القرنبيط يحتاج إلى زيادة هذا المعدل إلى ٤٠٠ جرام /هكتار. وتعتبر الإضافة بالرش من الطرق الفعالة وخاصةً في حالة الترب ذات القدرة العالية على تثبيت المولبيديوم، وفي هذه الطريقة يتم عمل محلول من الملح المحتوى على المولبيديوم بتركيز من ٠.١ – ٠.٣%. ومن الطرق الفعالة في إضافة المولبيديوم طريقة معاملة البذور بكمية من العنصر المحدد إضافتها لوحدة المساحة والتي عادةً تكون بمعدل ٥٠ – ١٠٠جرام / هكتار، حيث يتم

توزيع هذه الكمية الصغيرة والمجهزة في صورة سائل أو عجينة خفيفة بطريقة متجانسة على كل البذور التي سوف تُستخدم كتقاوي.

الوظائف الحيوية للمولبيديوم في النبات

١. ضروري جدا في تكوين أنزيمات تثبيت النتروجين الجوي

٢. مهم في تكوين الإنزيم المسئول عن عملية اختزال النترات

٣. يحفز امتصاص وانتقال عنصر الحديد داخل النبات

احتاج النبات لعنصر المولبيديوم

تختلف النباتات في احتياجها لعنصر المولبيديوم

٠.١–٠.٢ جزء بالمليون احتياج النباتات إلى هذا العنصر

أكثر النباتات احتياجا لهذا العنصر، البقوليات والقرنبيط والملفوف يليهم الطماطم والجزر

أعراض نقص المولبيديوم

١. تظهر أعراض النقص على الأوراق الوسطى والقديمة

٢. تتلون الأوراق بلون اصفر إلى اصفر مخضر

٣. تلتف الأوراق على نفسها وتكون مغطاة بزغب

٤. في الحمضيات تظهر بقع صفراء على الأوراق

أهم الأغذية التي تحتوي مولبيديوم

النباتية: الفاصوليا، أوراق الخضار الداكنة، البزاليا

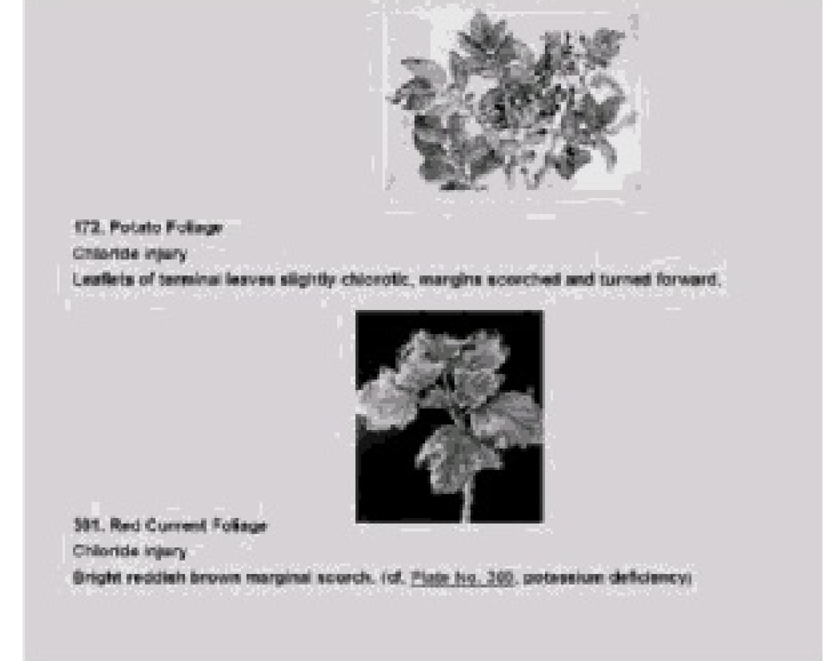
الحيوانية: اللحم الهبر، الكبد والكلى

الفصل الثامن عشر
العناصر المهمة الأخرى

كل العناصر التي ذكرت في الفصول السابقة، هي عناصر غذائية ضرورية للنبات إذ أنه بدون أي عنصر من هذه العناصر لا يستطيع النبات إكمال دورة حياته. لكن هناك مجموعة من العناصر يمكن أن يكون لها تأثير إيجابي في نمو النبات ومثال على هذه العناصر السيلكون إذ إنه تحت ظروف معينة يحفز نمو النبات، ولقد وجد بأنه لربما يكون ضرورياً لبعض أنواع من النباتات. الكلور في هذا الفصل قد ضم إلى هذه العناصر بوصفه عنصراً ضرورياً، ومن هنا يبدأ المشوار

الكلور

يوجد Cl^- متوزعاً بصورة واسعة في الطبيعة. ففي التربة يوجد الكلوريد بصورة غير مدمصة لمعادن التربة ولذا فإنه من الأيونات ذات الحركة السريعة في التربة، وقد يكون عرضة للغسيل في الأتربة ذات التصريف الحر. أن تجمع الكلوريد يحصل بشكل رئيس تحت الظروف الجافة إذ إن معدل انتقال الماء إلى الأعلى في مقد التربة هو اعلى من غسل Cl^-. الأتربة ذات المحتوى العالي من Cl^- تضم الأتربة المتأثرة بمياه البحر أو في التي تروى بالمياه الحاوية على الكلوريد، ويحصل التجمع في الأتربة ذات التصريف الرديء التي تستلم مياه الجريان من مناطق أخرى.



معظم أنواع النباتات تمتص الكلوريد بسرعة وبكميات كبيرة وهذا الامتصاص يعتمد بدرجة رئيسة على تركيز الكلوريد في المحلول الغذائي أو محلول التربة وعلى الجهد الامتصاصي لأنواع النباتات. الامتصاص يحصل ضد التدرج الكيميائي الكهربائي افتراضاً بوساطة الانتقال المساعد للـH^+ /chloride عبر البلازما لما بسبب أن درجة التفاعل الواطئة تحفز امتصاص Cl^-. وهذا يعني بأن نشاط $H^+ATPase$ للبلازما لما أيضا تقود امتصاص Cl^- والتي تتفق مع النتائج القديمة بأن امتصاص Cl^- ينظم حيوياً. في النباتات الراقية القنوات الأيونية الخاصة للكلوريد قد وجد بأنها مسؤولة عن الانتقال في غشاء البلازما لما وغشاء الفجوة. إن غشاء البلازما لما للخلايا الحارسة له نوعان من قنوات Cl^-. واحدة تنشط بسرعة

على عدم استقطاب الغشاء وان نشاطها يزول مع الوقت وهذا يعني بأنه إذا كان غشاء البلازما لما لا يستقطب (Depolarized) بالامتصاص العالي للكاتيون، فإن امتصاص Cl^- من المحلول الخارجي يكون هو المفضل. وقناة Cl^- الأخرى هي أيضا تنشط بعدم استقطاب الغشاء بل أن معدل نشاطها وإزالة النشاط (Deactivation) هو واطئ. فجوة الخلية هي مشحونة بالشحنات الموجبة نسبياً للسايتوسول، فإن انتقال Cl^- عبر غشاء الفجوة قد يكون بشكل رئيس هو انتشار ميسر (Facilitated Diffusion). اعتيادياً تركيز CL^- في السايتوسول هو أقل من ذلك الذي في الفجوة. النبات الطحلي حشيشة الكبد (*Conocephalum conicum lirerwort*) ووجدوا تركيز يقرب من ٧ مول Ci^- / م^3 في السايتوسول ربما يقرب من ٣٥ مول Cl^-/م^3 في فجوة الخلية. في النباتات الملحية (Halophytes) تركيز Cl^- هو اعلى بكثير وأنه قد يصل إلى ما يقرب من ٨٠ مول Cl-/م^3 في السايتوسول و ٣٠٠ مول Cl^-/م^3 في فجوة الخلية. إن معدل امتصاص Cl^- يكون الواطئ عندما يكون تركيز Cl^- في السايتوسول هو الأعلى. امتصاص Cl^- يثبط بوساطة النترات. والعكس صحيح إذ إن امتصاص النترات يمكن ان ينخفض بدرجة كبيرة بالتركيز العالي للكلوريد. يفترض بأن هذا السلوك التضادي لكلا الانيونين يعود إلى الانتشار الميسر عبر غشاء الفجوة أثناء القنوات الانيونية غير المتخصصة. الطريق الرئيس في انتقال الكلوريد إلى الأسطوانة المركزية مروراً بالقشرة. الكلوريد لا يمتص فقط من الجذور بل يمتص من أجزاء النبات العليا على شكل كلوريد أو على شكل غاز الكلور. كميات Cl^- في الهواء الجوي وفي الأمطار تتأثر بدرجة كبيرة بالبعد عن البحر. الأنسجة النباتية اعتيادياً تحتوي على كميات كبيرة منCl^- وفي الكثير من الأحيان بالمدى ٢–٢٠ ملغم Cl/ غرام مادة جافة، ولكن في أنواع chlorophilic لربما تكون بالكمية ١٠٠ ملغرام Cl/غرام مادة جافة. الطلب على الكلوريد للنمو الأمثل يلاحظ بانه واطئ وان أعراض النقص تظهر عند ٧٠ – ٧٠٠ مايكرو غرام Cl /غرام مادة جافة. وبصورة واضحة اكتشف Cl^- بوصفة عنصراً من العناصر الصغرى. الـ Cl^- يحتاج إليه في تجميع الأجزاء (Fractional assembly) لمجموعة النظام الضوئي II الحاوية على ٤ ذرات من Mn. وهذا يعد الوظيفة الضرورية للكلوريد في التركيب الضوئي لل eukaryots وجود الكلوريد يحفز تكون الأوكسجين وعملية الفسفرة الضوئية. الكلوريد هو من اهم المواد الأسموزية (osmoticum) وأنه قد يتجمع في فجوة الخلية لتراكيز عالية. النمو يكون بصورة خاصة مفضل في أنواع chorophilic مثل البنجر السكري والسبانخ. التأثير الرئيس الذي سببه التجهيز غير الملائم للبنجر السكري بالكلوريد يكون

في اختزال انقسام الخلايا في الأوراق مما يحد من المساحة السطحية للورقة ومن ثم نمو النبات. وفي بعض النباتات قد يؤثر نقص الكلوريد في عملية التركيب الضوئي بشكل غير مباشر إذ يؤثر في النظام بالثغور للخلايا الحارسة، وهذا يحصل في نبات البصل إذ تكون الخلايا الحارسة ذات محتوى فقير من النشا وتكون غير قادرة على تكوين الماليت. في فتح الثغور تدفق K^+ إلى الداخل إلى الخلايا الحارسة فيكون مرتبطاً أما مع تجمع الماليت كأيون معادل أو تدفق Cl^- إلى الداخل.

عدم وجود الكلوريد في أوراق البصل يوقف فتح الثغور ويؤثر سلبياً في العلاقات المائية. تدفق Cl^- خارج الخلايا الحارسة ينتج عنه عدم الاستقطاب لغشاء البلازما لما ويرتبط ذلك مع تدفق K إلى الظروف مفضلة لتكوين الماليت أو تنشيط قنوات Cl^- يحفز امتصاص Cl^-. أنواع النباتات التي تظهر إيقاع حركة دائرية (Circadian rhythm) للورقة الصغيرة، التفتح عند الصباح عند بداية التعرض للضوء وتغلق عند الظلام محرزة (possess) انقباض الخلايا(flexor) وانبساطها(extensor). التغير في الضغط الانتفاخي للخلايا القابضة والخلايا الباسطة قد تظهر بأنه ينتج من حركة K^+ وCl^- أثناء قنوات البلازما لما. الضوء الأزرق ينشئ فتح الأوراق الصغيرة لنبات *samanea Saman* وكذلك امتصاص K^+ و Cl^- بوساطة الخلايا الباسطة. الضوء الأحمر الذي يتبعه ظلام يحدث إغلاقاً للأوراق الصغيرة مما يدل على انتقال K^+ و Cl^- أثناء القنوات مسيطر عليه من قبل الضوء وان الضوء يستقبل من قبل الفايتوكروم (Phytochromes).

الدور غير المتخصص الأخر للكلوريد يعود إلى حركته العالية إذ يقوم بعمل الأيون الذي يعرض عن تدفق البوتاسيوم ويحافظ على الضغط الانتفاخي. الكلوريد ربما أيضا يحل محل NO_3^- الأيون المتحرك الأخر، أن إضافة الكلوريد لنبات السبانخ في الحقل وفي تجارب المحاليل المغذية قد أدى إلى خفض تركيز NO_3^- وزيادة تركيز Cl^- في الأجزاء العليا من النبات. الاستجابة في النمو تحصل كذلك التي من المحتمل أن تعود إلى دور Cl^- كونها مادة أسموزية مفضلة امتصاص الماء والاحتفاظ به والحالة نفسها وجدت مع أشجار جوز الهند والزيتون. وهذا التأثير يحصل عندما يتواجد الكلوريد بتراكيز ١٠ – ٢٠ ملغرام Cl^-/ غرام مادة جافة. وهذا يحتاج إلى مزيد من البحث والتقصي. بسبب وظيفته الأسموزية فإن Cl^- عد بوصفه عنصراً ضرورياً للنبات. أكثر من ١٠٠ مادة طبيعية تحتوي على Cl^- موجودة في النبات. أحدها هي 4- Chloroindol Acetic Acid التي استجابت بنشاط اكبر في اختبار *Avena* مما حصل مع Indol Acetic Acid غير الحاوية على الكلوريد.

أعراض نقص الكلوريد: ذبول حوافي الأوراق هي ميزة نموذجية وتتأثر عملية النتح ومن اهم ميزات نقص الكلوريد هو ظهور اللون الأصفر على الأوراق الحديثة التكوين. في نبات البنجر السكري نمو الورقة متباطئ مؤدياً إلى معدل واطئ لانقسام الخلايا وتكاثرها. المساحة الورقية تنخفض ويحصل الاصفرار الجزئي. وعندما يكون تركيز Cl^- في التربة أقل من ٢ ملغرام من Cl الذائب في الماء/ كغم تربة فان التربة تعد من الأتربة ذات المحتوى الواطئ من الكلوريد. واستنادا إلى ذلك Cl^- الذائب بالماء مؤشر مهم لجاهزية Cl^- من الناحية التطبيقية نقص الكلوريد صعب الحصول، وذلك لأن ما موجود من الكلوريد في الهواء الجوي أو ماء المطر هو اكثر مما يحتاجه النبات ويلبي طلب النبات وهو بمعدل ٤ إلى ١٠ كغم/ هكتار/ السنة. كذلك تحت الظروف المختبرية يكون أيضا من الصعب التسبب بحصول النقص وذلك بسبب التلوث بالهواء الجوي. إن المستويات العالية من الكلوريد في التربة تشكل مشكلة خطيرة للنبات إذ إن المحاصيل النامية في الأتربة المتأثرة بالأملاح تظهر عليها أعراض سمية الكلوريد وهذه الأعراض تضم حرق نهايات الأوراق والحافات وظهور اللون البرونزي واللون الأصفر على الأوراق قبل اكتمال نموها وبعد ذلك يتم سقوط هذه الأوراق. إن النباتات تختلف من حيث حساسيتها للكلوريد إذ إن البنجر السكري والشعير والذرة الصفراء وكذلك الطماطم هي من النباتات الشديدة المقاومة للكلوريد. بينما التبغ والحمضيات والعنب والفاصوليا والبطاطا والخس وبعض البقوليات تكون حساسة جداً ومتعرضة لسمية الكلوريد. هذه النباتات الحساسة يجب أن تضاف إليها الأسمدة الحاوية على الكبريتات بدلاً من الأسمدة الحاوية على الكلوريد، وكان هناك ميل واضح لوزن العنقود ولعدد العناقيد لكل أصص للزيادة عندما التجهيز بالكلوريد ينخفض. تحت ظروف الحقل التأثيرات السلبية للكلوريد بوصفه عام هو ليس مثيراً (Spectacular) كما هو الحال في وسط المحلول الغذائي لكون أنه تحت ظروف الحقل الكلوريد والكبريتات المضافة ستندمجان مع الكلوريد والكبريتات الموجودة في التربة. فضلاً عن ذلك غسل الكلوريد يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار. من إضافة KCl في الخريف كمية كبيرة من الكلوريد قد تغسل إلى طبقات التربة العميقة بوساطة أمطار الشتاء بينما K^+ يبقى مدمصاً لغرويات التربة في الطبقة العليا للتربة.

إن مستويات الكلوريد ٥-٢٠ ملغرام Cl/ غرام مادة جافة في أنسجة النبات الحساسة تؤدي إلى النقص في الحاصل ورداءة في نوعية المحصول بينما في النباتات المقاومة ٤٠ ملغرام أو أكثر من الكلوريد تسبب نقصاً في الحاصل ورداءة في النوعية.

الكلور في تغذية النبات يحتاجه النبات بتركيز منخفض يصل إلى ٠.٠٥ جزء في المليون، وتكمن الوظيفة الأساسية للكلور في كونه عامل أساسي لإتمام عملية الأكسدة الضوئية للماء أثناء عملية التمثيل الضوئي وانطلاق الأوكسجين. ويقوم ببعض الوظائف الأخرى غير المتخصصة أي كعامل مساعد في اختزال بعض المركبات الغنية في الطاقة وإنتاج بعض المركبات أثناء التمثيل الضوئي. أيضا يساعد في رفع الضغط الإزموزى للخلايا ويزيد من تأدرت الأنسجة النباتية.

وأعراض نقص الكلور في النبات تحت الظروف الطبيعية نادراً ما يظهر على النباتات أعراض نقص لعنصر الكلورين. حيث يكون من الصعب ظهور أعراض نقص حتى تحت ظروف المعمل ويرجع ذلك لحدوث التلوث بهذا العنصر من الغلاف المحيط بالنبات. وعموماً إذا حدث وظهرت على النبات أعراض نقص للكلور تتمثل هذه الأعراض في ظهور اصفرار على الأوراق الحديثة و ذبول هذه الأوراق.

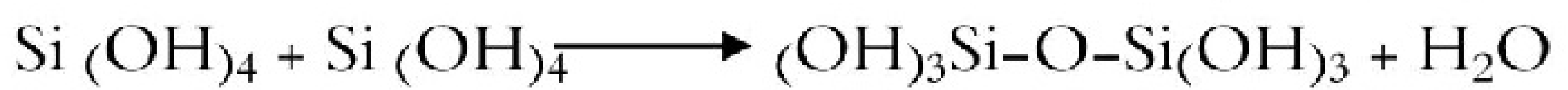
ومعالجة نقص الكلور يوجد العديد من الأسمدة التي تحتوى على الكلور لمعالجة نقص العنصر منها الأسمدة المعدنية مثل (كلوريد البوتاسيوم – كلوريد الأمونيوم) والأسمدة العضوية. ويصل الكلور إلى التربة مع مياه الري الغنية بالكلور كما يصل هذا العنصر إلى التربة في المناطق الساحلية مع الرذاذ الناتج من مياه البحر.

ومما لا شك فيه أن نقص الكلور يؤثر على إنتاجية بعض المحاصيل، حيث وجد أن نباتات نخيل الزيوت وجوز الهند تستجيب لإضافة الكلور في الترب الفقيرة في هذا العنصر.

السليكون

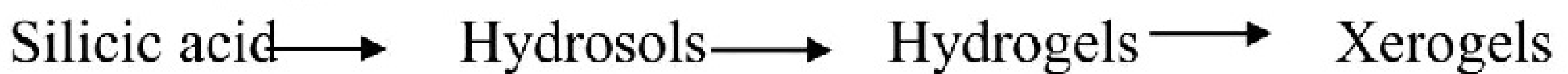


السليكون هو العنصر الثاني بعد الأوكسجين الذي يوجد في تراكيز عالية في الجزء اليابس من التربة، ويوجد في كل المعادن تقريباً. أهم المعادن الحاوية على Si هي الكوارتز وال Opal و Cristobalite. السليكون الذائب في محلول التربة هو بشكل رئيس بصورة حامض Ortho Silicic [$H_4SiO_4 = Si(OH)_4$] الذي يمكن أن يقوم بانشطار H_2O طبقاً للمعادلة الآتية:



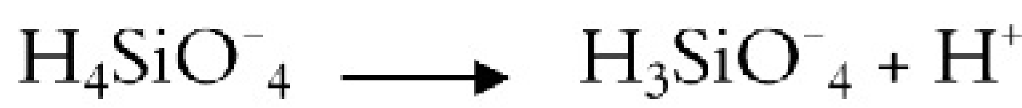
$$Si(OH)_4 + Si(OH)_4 \longrightarrow (OH)_3Si\text{-}O\text{-}Si(OH)_3 + H_2O$$

في هذا الاتجاه السلسلة الحاوية على Si تتكون وذوبانيتها تقل بزيادة طول السلسلة. هناك تحول تدريجي من Monomeric Silicic Acid إلى جزيئات اكبر تبعاً للتسلسل أو التدرج الآتي



Silicic acid ⟶ Hydrosols ⟶ Hydrogels ⟶ Xerogels

إن Sols و Gels الحاوية على السليكون تعود إلى جزء سليكون التربة غير البلوري الذي ذات أهمية كبيرة لتجهيز النباتات بالسليكون بسبب ثبوتيتها الواطئة مقارنة بالمعادن الحاملة للسليكون. إن جاهزية السليكون للنبات تعتمد بدرجة كبيرة على سرعة حصول عملية التجوية على المعادن والتي بدورها تحرر السليكون إلى محلول التربة. يكون السليكون في المعادن ذات درجة مقاومة عالية للتجوية مثل الكوارتز غير جاهز للنبات تماما، وفي الترب التي تعرضت للتجوية بدرجة كبيرة مثل Oxisols و Ultisols فالنباتات فيها تعاني من التجهيز غير الملائم بالسليكون. السليكون الذائب يتواجد على شكل Monomeric H_4SiO_4 لمدى واسع من درجة تفاعل التربة (٢ إلى ٩) وهو في حالة توازن مع SiO_2 غير البلوري مع تركيز التوازن الذي يقرب من ٢ مول/م[٣]. وعند درجة التفاعل التي هي أعلى من ٩ فان H_4SiO_4 يزال منه البروتون (Deprotonated). تركيز Si الذائب بشكل رئيس هو $Si(OH)_4$، يبقى عند مستوى ثابت لمدى واسع من درجة التفاعل حتى تبدأ عملية إزالة البروتونات عند درجة تفاعل ٩.٠ مع زيادة حادة في الذوبانية على شكل $Si(OH)_3O^-$.



$$H_4SiO^-_4 \longrightarrow H_3SiO^-_4 + H^+$$

إن تركيز حامض السلسليك المزال منه البروتون ($H_3SiO^-_4$) يسيطر عليه بدرجة رئيسة بوساطة تفاعلات الإدمصاص على الـ Sesquioxides المعتمدة على درجة تفاعل التربة، إذ أن الإدمصاص يقل بصورة كبيرة عند درجة التفاعل ٩.٥ وليس ذات أهمية رئيسة عند درجة التفاعل اقل من ٧.٠.

إن الأتربة الحامضية ذات تراكيز عالية من السليكون في محلول التربة بصورة حامض السلسليك غير المفكك (H_4SiO_4) إذ أن تراكيزه بالمدى ١٠٠ إلى ٦٠٠ ملمول/م[٣] وإنما بوصف عام أكثر من تراكيز الفوسفات. وان إضافة الجير تؤدي إلى خفض معدل جاهزية وامتصاص السليكون من عدد من النباتات كما أشار إلى ذلك. إن تقدير السليكون الجاهز في التربة يمكن الوصول إليه باستعمال النسبة بين السليكون سهل الاستخلاص إلى Sesquiocides الحرة أو سهلة الاستخلاص. إذا وجد بان ناتج النسبة (Si/Al) أو (Si/Fe) كان الأعلى فان هذا يدل على حصول الامتصاص الأعلى للسليكون من قبل النبات، وهذه الدراسة أجراها على نبات الرز.

إن الصورة التي يمتص بها السليكون من قبل النبات هي من المحتمل حامض السلسليك غير المفكك (H_4SiO_4) على الرغم من عدم وضوح ميكانيكية الامتصاص إلى وقتنا هذا. المقترح بان امتصاص حامض السلسليك غير المفكك على انه غير حيوي (Passive) من الصعوبة الحكم عليه مادام جزيئات

أخرى غير مفككة (Undissociated) مثل السكريات يمكن أن يتم امتصاصها بالانتقال المساعد بالبروتون. وبهذا فان ذلك يعتمد على الطاقة. من التجارب التي أجراها على نبات الشوفان. امتصاص السليكون غير حيوي وذلك لان مستويات السليكون في النبات قد اتفقت مع المستويات المحسوبة والمشتقة من نتائج تراكيز السليكون في محلول التربة والامتصاص الحاصل للماء بوساطة حصول عملية النتح. مثل هذا السلوك أو الوسيلة يعتمد على افتراض بان Si ينتقل بشكل غير حيوي بوساطة تيار الماء إلى Apoplast الجذور. معظم هذا السليكون لذا يجب أن ينتقل من الجذور إلى الأوراق، والسؤال الذي يبرز هل أن هذا الانتقال غير الانتقال بالـ Apoplast. بأن شريط كاسبر هو الحاجز القوي للمواد الذائبة ولذا فان الأكثر صحة بأن Si أيضا عند بعض المراحل يعترض غشاء البلازما لما لدخول عصير الخشب. أن نواقل Si قد توجد أيضا في أغشية النباتات الراقية. وهذا يتطابق مع الملاحظات المختلفة بأن تركيز Si يختلف بدرجة ملحوظة بين الأنواع وبين الأصناف. تراكيز Si في الأجزاء العليا من *Vitis vinifera* تعتمد بدرجة كبيرة على نوعية جذر التطعيم (Rootstock). أن معدلات امتصاص Si تعتمد بدرجة كبيرة على تركيز حامض السلسليك في المحلول المغذي وان ذلك يختلف بدرجة ملحوظة بين الأنواع. تم مقارنة ثلاثة نباتات هي الرز والحنطة وفول الصويا عرضت إلى ثلاثة تراكيز من السليكون هي واطئة ومتوسطة وعالية، وكان معدل الامتصاص، عند كل المستويات الثلاثة في المحلول المغذي، الأعلى في الرز والواطئ في فول الصويا،، حتى عند التركيز العالي للسليكون كان معدل امتصاص Si من قبل فول الصويا لازال اقل من معدل امتصاص الرز في المعاملة ذات التركيز الواطئ من السليكون في المحلول المغذي. معامل النتح كان متشابهاً للرز والحنطة ولكن لازال الرز يظهر معدل امتصاص أعلى للسليكون عما هو عليه مع الحنطة. الجدول (٤٢) يوضح الامتصاص المحسوب للسليكون بافتراض عدم وجود امتصاص انتقائي بالجريان الكتلي. حتى عند التركيز العالي للسليكون في المحلول المغذي فان ذلك لا يقدر بـ ٥٠٪ من Si الكلي الممتص بوساطة الجذور. هذه النتائج تدل على امتصاص انتقائي للسليكون لهذه الأنواع الثلاثة من المحاصيل بالرغم من عدم وضوح الميكانيكية. لفول الصويا عند أعلى تركيز من التجهيز لم تكن هناك ميكانيكية مؤثرة مستثناة تعمل.

الجدول ٤٢: الامتصاص الحقيقي للسليكون والتجهيز بالجريان الكتلي للجذور لثلاثة أنواع من النباتات النامية في محاليل مغذية ذات تراكيز مختلفة من السليكون

نوع المحصول	تركيز Si في المحلول الغذائي ملغم Si/لتر	معامل النتح لتر H_2P/كغم مادة جافة	الامتصاص الحقيقي للسليكون غم	التجهيز بالجريان الكتلي للسليكون
الرز	٠.٧٥	٢٨٦	١٠.٩	٠.٢
	٣٠	٢٤٨	٩٤.٥	٧.٤
	١٦٢	٢٤٨	١٢٤	٤٠.٢
الحنطة	٠.٧٥	٢٩٥	١.٢	٠.٢٢
	٣٠	٢٩٥	١٨.٤	٨.٩
	١٦٢	٢٦٧	٤١.٠	٤٣.٣
فول الصويا	٠.٧٥	١٩٧	٠.٢	٠.١٥
	٣٠	١٩٧	١.٧	٥.٩
	١٦٢	١٩٧	٤.٠	٣١.٩

يستنتج انه تحت ظروف الحقل امتصاص Si من قبل نبات الرز على الأكثر هو عملية انتقائية. امتصاص Si من قبل جذور الشعير يحتاج إلى طاقة أيضية وأنه حساس للمثبطات الحيوية وللاختلاف بدرجة الحرارة. الامتصاص الانتقائي للسليكون الذي لوحظ مع الرز هو أيضا يتفق مع ما لوحظ بأن تركيز Si في العصير لهذا النبات يمكن أن يكون أكثر بعدة مئات من الأضعاف من التركيز في المحلول الخارجي. انتقال السليكون يحصل فقط في الخشب وتوزيعه داخل النبات يعتمد على معدل عملية النتح لأجزاء النبات المختلفة وبهذا تراكيز Si بوصف عام هي أعلى في الأوراق القديمة مما هي عليه في الأوراق الحديثة. السليكون يوجد بصورة حامض السلسليك في عصير الخشب. ويترسب في خلايا البشرة الخارجية على شكل Amorphous Silica أو على شكل Opal Phytoliths مع أشكال ذات أبعاد ثلاثة معرفة. السليكون قد يرتبط بشكل أساس مع شبكة جدار الخلية. كرابطة تساهمية تربط Si في البكتينات.

حامض السلسليك يتفاعل تناظرياً إلى حامض اليوريك مع O-Phenol مثل Caffeic Acid المادة الأصل (Precursor) في التكوين الحيوي للكنين ليكون مركبات السليكون المعقدة الأحادية والثنائية والمتعددة، غياب Si في خلايا الجذر يؤدي إلى انخفاض جزء اللكنين وزيادة في الفينول. إن وظيفة ترسب السليكون في جدر الخلية تشابه ترسب اللكنين وذلك يعني بأنه المكون التركيبي لجدر الخلية المقاوم للضغط(Compression Resistant) السليكون يعمل بوصفه مادة تركيبية تمنع ضغط الأوعية الحاصل من عملية النتح عندما يكون معدلها عالياً، والسليكون قد يترسب على شكل ألياف (Fibers) أو شعر وقد تكون مادة محدثة للسرطان (Carcinogenic) عندما جزء من الإنسان في حمية. هذا الليف السليكوني يتواجد في نبات Foxtail Millet (*Setaria itilica*) و *Phalaris* وهذه تظهر بأنها علاقة وثيقة بين استهلاك هذه النباتات من قبل البشر وحصول السرطان (Oesophageal Cancer). النباتات بأنواعها تنقسم إلى نباتات مجمعة للسليكون ونباتات غير مجمعة له. النباتات المجمعة تضم أنواع المناطق الرطبة مثل الرز (*Oryza sativa*) ونبات ذنب الحصان (*Equisetum arvense*) وأعضاء من نباتات العائلة Pinaceae وكل هذه النباتات تحتوي على ٥٠-٧٥ ملغرام Si/غرام مادة جافة. المجموعة أيضا تضم أنواع المناطق الجافة مثل قصب السكر وعدد من نباتات الفلقتين مع تراكيز للسليكون اقل وبالمدى ٥- ١٥ ملغرام Si / غرام مادة جافة. النباتات التي لا تجمع السليكون هي معظم نباتات ذوات الفلقتين تضم البقوليات وذات Si اقل من ٣ ملغرام Si/غرام مادة جافة. أن هذه النباتات تكون ناجحة في تأقلمها لليابسة والبحر، الحشائش وال Diatoms وال Pinaceae كلها مجمعة للسليكون.

إنه ليس مثيراً بان النباتات التي تجمع السليكون بكميات كبيرة لقد وجد بأنها تظهر أعراض نقص السليكون أكثر. في نباتات الرز أعراض نقص السليكون تكون نموذجية وهي موت موضعي في الأوراق القديمة وان الذبول يرتبط بالمعدل العالي للنتح. نقص السليكون قد لوحظ في النباتات التي لا تجمع السليكون مثل نباتات الطماطم ولاسيما عند مراحل الإنتاج. الأوراق الحديثة كانت مشوهه وفشل في التلقيح وفي تكون الثمار في الخيار (*Cucumis sativus*) النامي في محلول مغذي، انه في النباتات غير المجهزة بالسليكون تكون الأوراق السفلى أقل اخضراراً وان سمك الورقة يقل. فضلاً عن ذلك نشاط الأنزيم Rubisco كان منخفضاً، النباتات كانت حساسة للإجهاد المائي وأظهرت أعراض الذبول

مقارنة بالنباتات التي قد جهزت بالسليكون. في النباتات التي غذيت بالسليكون بصورة جيدة ينخفض فقدان الماء من خلال الكيوتكل بسبب تجمع السليكا في البشرة.

النباتات المجهزة بالسليكون بصورة جيدة تكون مقاومتها لمهاجمة الفطريات عالية وهذا يمكن أيضا أن يعود إلى ترسب Si في طبقة البشرة. أن Si يلعب دوراً في مقاومة الذرة الصفراء للحشرات (European Corn Borer). هذا الباحث ذكر العديد من الحالات التي فيها التراكيز العالية من Si في النباتات تحافظ على المحصول ضد مهاجمة الحشرات. احد الأمثلة هو غزو فطريات مختلفة لأراضي الرز المرتفعة (Upland Rice) الذي ينمو في غرب أفريقيا في ترب Alfisols و Ultisols Helminthosporium, Fusarium *Sarocladium, Curvularia,*. في تجارب سنادين وتجارب حقلية لقد ظهر بان غزو الفطريات وصفة تلون الحبوب يمكن أن تعالج بإضافة السليكا.

كل هذه التأثيرات المفضلة للسليكون في نمو النبات تولد سؤالاً هل أن Si عنصراً غذائياً طبقاً للتعريف التقليدي للعنصر الغذائي. هذه المشكلة لاتزال إلى وقتنا هذا بان النباتات قادرة على أن تنمو وتكمل دورة حياتها بدون Si حتى وان كان النمو ضعيفاً. لذا فان التلوث بالسليكون كلي الوجود (Ubiquitous=Omnipresent) أي منتشر في كل مكان وانه حتى المحلول النقي قد يحتوي على بعض السليكون، لذا فان Si على الأقل قد يقوم بوظيفة كعنصر صغير. في هذا الموضوع يكون مهم بصورة خاصة فيما اذا Si هو ضروري لتكوين اللكنين. اذا تم التأكد من ذلك فان هذه الحالة للسليكون سوف ترشحه لان يدخل في قائمة العناصر الغذائية التقليدية. في الوقت الحالي Si لايزال يعتمد على نحو يشبه العنصر الضروري (Quasi-Essential) أو ظاهرياً عنصر ضروري. بوصف عام تراكيز Si في الأوراق النباتية هي بذات المدى أو السياق لتلك للعناصر الصغرى وانه في معظم الحالات الترب تحتوي كميات كبيرة من السليكون الجاهز.

للزراعة الحقلية السليكون قد يلعب دوراً في إنتاجية المحصول. المحصول الأكثر أهمية الذي يستجيب للسليكون هو الرز. هناك علاقة معنوية بين تركيز Si في قش الرز وحاصل الرز البني اللون. السليكون بصورة خاصة يحفز أعضاء التكاثر للرز.

نتائج هذه الدراسة موضحة في الجدول (٤٣) والتي تشير بوضوح إلى أن Si كان له تأثير إيجابي بصورة خاصة في وزن الحبوب. فضلاً عن ذلك مكونات الحاصل الأخرى، مثل عدد عناقيد الحبوب وعدد

السنابل بالعنقود ونسبة الحبوب الناضجة المملوءة، قد تأثرت إيجابيا بوساطة Si. إن استمرار نمو الرز قد يقود إلى استنزاف Si الجاهز في الترب بسبب المعدل العالي نسبياً لامتصاص Si من قبل نبات الرز. مثل هذا الاستنزاف للسليكون الجاهز يسبب نقصاً في الحاصل للرز إضافة السليكون للرز قد يحسن أيضا من كفاءة استهلاك العناصر الغذائية الأخرى.

الجدول ٤٣ : تأثير التجهيز بالسليكون في نمو حبوب الرز في المناطق المنخفضة وحاصلها

	طول الأجزاء العليا	عدد عناقيد الحبوب/أصص	عدد السنابل بالعنقود	نسبة الحبوب الناضجة المملوءة	وزن الحبوب الناضجة غم/أصص
-Si	٨٥	٩.٥	٤٩.٣	٥٥	٥.٢٥
+Si	٩٤.٥	١١.٦	٦٣.٢	٧٦	١٠.٨٣

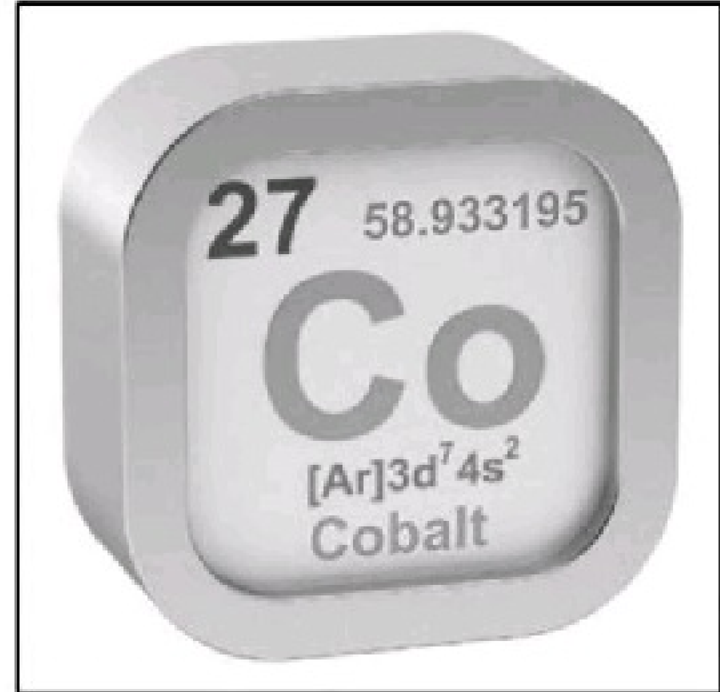
إضافة الأسمدة الحاوية على السليكا يمكن أن تزيد من جاهزية الفسفور في التربة. في إحدى التجارب على نبات الشعير في محطة (Rothamsted) في إنكلترا وجد بان إضافة ٤٥٠ كغم/هكتار من سليكات الصوديوم حولياً لاتزال تزيد من جاهزية الفسفور في التربة التي أضيفت إليها هذه المادة بعد قرن من الاستخدام. إن ميكانيكية تأثير السليكا في جاهزية الفسفور قد تعود إلى حصول تبادل بين السليكا والفسفور المدمص ($H_2PO_4^-$) على أكاسيد الألمنيوم والحديد. هذا الاستبدال يحصل بشكل سريع تحت الظروف الحامضية والمتعادلة. السليكات تستطيع فقط أن تُدمص بوجود الفوسفات عندما تزيد من الشحنات السالبة السطحية وذلك عند pH أعلى من ٧.٠. الأسمدة السليكاتية التي تضم السليكات الذائبة وال (Sinterphosphate). وال (Ca Silicate Slags) تستعمل في الأتربة ذات المحتوى الواطئ من السليكون لتحسين حاصل المحاصيل ونوعيتها. لقد وجد أيضا بان إضافة الأسمدة الحاوية على السليكا قد أدى إلى زيادة المحتوى السكري والحاصل لنبات قصب السكر في مثل هذه الترب. في أتربة الرز يستعمل بعض الأحيان (Silicate Slags) لزيادة الرقم الهيدروجيني للتربة والسليكات الذائبة. إضافة سليكات البوتاسيوم السماد الذي يحرر العنصر ببطيء (Slow Release Fertilizer) ووجد تأثيراً مفضلاً على كل من الرز والخيار.

أهم الأغذية التي تحتوي عنصر السليكون Si (Silicon)

التفاح، الشمندر، الرز الأسمر، كنباث (ثمر شجرة الأراك – السواك)، الخضار، النباتات الجذرية، فول الصويا.

الكوبلت Cobalt

في الترب تركيز الكوبلت هو بالمدى من ١ إلى ٤٠ ملغرام/كغم تربة ولكن قد يصل التركيز من ١٠٠– ٢٠٠ ملغرام /كغم في مادة الأصل ذات الأصل البركاني. مستويات الكوبلت تتبع توزيع المغنيسيوم في معادن الـ Ferromagnesian في الصخور Dunite والـ Perioditite والـ Serpentine (Uitrabasic Rocks) ذات المحتوى العالي من معادن (Ferromagnesian) الغنية بالمغنيسيوم وقد توجد مستويات من الكوبلت بين ١٠٠ و ٣٠٠ ملغرام Co/كغم تربة. أما في الصخور الحامضية (Acidic Rocks) التي تضم الـ Granites ذات المحتوى العالي من معادن ferromagnesian الغنية بالحديد يكون المحتوى من الكوبلت واطئاً ويكون بين ١ إلى ١٠ ملغرام



Co/كغم تربة. إن توزيع الكوبلت في الصخور الرسوبية يعتمد بدرجة كبيرة على أسلوب تكون هذه الصخور، إذ في صخور الـ argillaceous مثل (Shales) يكون المحتوى من الكوبلت عالياً نسبياً ويتراوح من ٢٠ إلى ٤٠ ملغرام Co/ كغم تربة. بينما في الـ (sandstones) والـ (limestones)، يكون المحتوى واطئاً وهو اقل من ٥ ملغرام Co/كغم تربة. هناك علاقة واضحة بين تركيز Co ونسجه التربة إذ يزداد الكوبلت بزيادة تركيز الطين. الكوبلت في التربة يوجد بصورة رئيسة في الصفائح البلورية لمعادن الـ Ferromagnesian وبهذا يكون غير جاهز للنبات، وبعد تحرير الكوبلت من هذه المعادن بوساطة عمليات التجوية فان الكوبلت يربط أو يحتفظ به على صورة كوبلت قابل للتبادل أو على هيئة معقدات معدنية عضوية. إن الكوبلت المتبادل يكون مرتبطاً بالمعادن بقوة وهذا يشبه حالة النحاس المتبادل ولهذا يكون تركيزه في محلول التربة واطئاً جداً. الكوبلت أيضا يرتبط إلى أكاسيد المنغنيز والحديد، والظروف العابرة للغمر بالماء (transient water logging) قد تؤدي إلى اختزال المنغنيز والحديد المرتبط بتحرر CO_2^+ التي قد تغسل إلى طبقات التربة العميقة. لذا فان معدل التجوية للمعادن تحت ظروف الصرف

الرديء للتربة يكون عالياً وهذا يعكس سبب زيادة مستوى الكوبلت الجاهز في أتربة رديئة التصريف عما هو عليه في أتربة ذات التصريف الحر وذات مادة أصل متشابهة على الرغم من أن محتوى التربة الرديئة التصريف من الكوبلت الكلي اقل من الكوبلت الكلي في الأتربة ذات التصريف الحر. الكوبلت يشابه العناصر الثقيلة الأخرى (Cu, Ni, Pb, Zn) يمكن أن يدمص بقوة إلى سطوح الأكاسيد ولاسيما أكاسيد المنغنيز. هذا الإدمصاص يحصل في حالة وجود شحنات سطحية فائضة سطوح مشحونة زائدة ومن الكاتيون فقط شحنة موجبة واحدة يتم معادلتها إذ أن في حالة Co فان Co^{+} تدمص مما قد تجعل شحنة السطح موجبة. هذه العملية تعرف بالإدمصاص المتخصص الذي بوساطته Co يمكن أن يتحول إلى غير جاهز. في الأتربة الاسترالية بان ما يقرب من ٧٩٪ من الكوبلت الكلي للتربة يكون مرتبطاً بأكاسيد المنغنيز المعدنية.

هناك معلومات قليلة حول ميكانيكية انتقال الكوبلت عبر اغشيه النبات. في تجربة على النباتات العلفية وجد بعد استخدامه للكوبلت المشع مع النباتات العلفية، بان الكوبلت ينتقل من الأوراق القديمة إلى الأنسجة الحديثة. وفي دراسة معاكسة وجد بعد دراسته على نبات الـ lupin بان تركيز الكوبلت في الأوراق يزداد كلما تقدمت الأوراق بالعمر، وان تركيزه في الأوراق القديمة أعلى من تركيزه في الأوراق الحديثة حتى عندما تعاني العقد الجذرية من نقص الكوبلت، فان الكوبلت يستمر بالتجمع في الأوراق القديمة. وهذه النتائج دعمت النتائج القديمة التي أكدت على أن الكوبلت غير متحرك داخل النبات. الكوبلت يسلك سلوك المعادن الثقيلة الأخرى إذ انه يكون مركبات مخلبية بارتباطه مع جزيئات عضوية كما هو الحال مع الحديد والمنغنيز والخارصين والنحاس وكذلك فانه يكون قادراً أيضا على إزاحة أيونات أخرى من جهات الربط والإدمصاص ولهذا فانه أيضا يكون قادراً على التأثير في امتصاصها وفي أسلوب عملها. التغذية المفرطة بالكوبلت تؤدي إلى ظهور نقص في الحديد. التأثير السمي للكميات الفائضة من الكوبلت المضاف يشبه أعراض نقص المنغنيز. كل من هذه الملاحظات توضح بان التأثير السمي للكوبلت الفائض يعود إلى التأثير الناتج عن إحلال الكوبلت محل العناصر الثقيلة الأخرى في العمليات الفسيولوجية. والتأثير السام للكوبلت في النبات يظهر على الأوراق إذ يظهر عليها الاصفرار ومن ثم موت الأنسجة وبعد ذلك يظهر الذبول على الأوراق كثيراً وبشكل كامل. سمية الكوبلت قد تخفض بوساطة Fe . قليل من أنواع النباتات تكون قليلة الحساسية لسمية الكوبلت ففي بعض الحالات يتجمع الكوبلت بمستويات عالية (١٠٠ ضعف) في هذه النباتات مقارنة بالنباتات الأخرى الحساسة النامية في التربة نفسها. ومثال ذلك نبات Swamp Black Gum (*Nyssa sylvatica*) الذي ينمو في الجنوب الشرقي من

الولايات المتحدة والذي يصل تركيزها من الكوبلت إلى ١٠٠٠ ملغرام Co/كغم في المادة الجافة، وهذا النبات يكون دليلاً جيداً لتقدير جاهزية الكوبلت. ولقد وجد عند استعمال هذا النبات دليلاً بأنه اذا وصلت قيم الكوبلت إلى اقل من ٥ ملغرام/كغم في أوراق هذا النبات فان هذا يدل على وجود نقص بالكوبلت في الحيوانات المجترة التي تتغذى على النباتات العلفية من ذات البيئة.

أنواع نباتية أخرى قادرة على تجميع الكوبلت تستعمل دليلاً لوجود معدن حاو على الكوبلت والحديدوز معاً في التربة ومن هذه النباتات قد وجد في زائير في المناطق الغنية بالكوبلت مثل (*Cobalticola crotolaria*) ولقد وجد بان محتوى الكوبلت في المادة الجافة لهذا فان النبات يقدر بين ٥٠٠ إلى ٨٠٠ ملغرام Co/كغم قد لوحظت في المادة الجافة لهذه الأنواع.

الكوبلت هو ضروري لتثبيت N_2 تكافلياً ولنمو الرايزوبيا. التأثير القاسي أو المتطرف(drastic effect) للوسط الذي يعاني من نقص Co في نمو نبات فول الصويا المتعايش مع *Rhizobium japonicum*. في الدراسات لمعرفة تأثير Co في البكتريا المثبتة لـ N_2 تكافلياً وهي *Rhizobium meliloti* زيادة التجهيز بالكوبلت زاد من نمو الرايزوبيا، ومن تثبيت N_2، ومن تركيز فيتامين B_{12}، وتكوين leghaemoglobin في الرايزوبيا. من هذا العمل يستنتج بان تأثير Co على تثبيت N_2 ونمو الرايزوبيا يحصل بوجود الأنزيم المساعد الحاوي على الكوبلت وهو Cobalamin (= فيتامين B_{12}).

تم توضيح دور الكوبلت في ثلاثة أنزيمات التي تعتمد على Cobalamin في الرايزوبيوم وهذا الدور في نمو وتكوين العقد الجذرية وتثبيت النيتروجين في البقوليات وهي:

١- Methylmalonyl الأنزيم المساعد mutase الذي يدخل في تمثيل الهيم في الـ bacteriods والذي له حاجة في إنتاج Leghaemoglobin في العقد الجذرية. لهذا فإن نقص الكوبلت يؤدي إلى نقص الـ loghaemoglobin في العقد الجذرية وهذا يحسب على العلاقة بين نقص الكوبلت وانخفاض تركيز Leghaemoglobin في العقد الجذرية.

٢- Methionine synthase الذي يجهز الـ methionine لتكوين البروتين في الـ bacteriods.

٣-الأنزيم RibonuCleotide reductase الذي يشترك في اختزال ribonuCleotides إلى desoxyribonuCleotide وكذلك في تمثيل DNA. لذلك فان نقص الكوبلت يؤثر سلباً

في تمثيل DNA وانقسام الرايزوبيا وكذلك نمو العقد فيها. وهذا يتفق مع ملاحظة عدد قليل من elongated bacteriods عندما تعاني العقد الجذرية من نقص الكوبلت.

هناك ثلاثة أقسام مختلفة من ribonuCleotide reductases. الأنزيم reductase في الرايزوبيا يعود إلى القسم II الذي يختلف عن التسمين الآخرين لـ ribonuCleotide reductases والذي يحتاج إلى الأنزيم المساعد Cobalamine وكذلك CO. اختزال ribonuCleotide إلى deoxyribonuCleotide يحتاج إلى radical الذي يجهز بوساطة انقسام آصرة Carbon-Cobalt الذي بوساطته الـ ligand أعلى مستوى الـ corrin. إلى جانب cobalamine تعرف cobamids أخرى (=analogs of cohalamin) الأنزيم المساعد الذي يحتوي على CO) والتي تختلف فقط وبدرجة قليلة جداً في الـ ligand أسفل مستوى الـ corrin. وهذه تساعد في نقل المثيل وتلعب دوراً في methanogenic bacteria.

إن تأثير نقص الكوبلت في تكون العقد الجذرية وأداء وظيفتها درست باستخدام Sweet lupin النبات الحساس لنقص الكوبلت. واهم نتائجه موجودة في الجدول (٤٤)، الذي فيه المعاملات التي لقحت بالرايزوبيم مع الكوبلت وبدونه قد قورنت. ليس فقط Co زاد من وزن العقد الجذرية، تركيز Co في العقد الجذرية، وعدد الـ bacteriods في كل عقدة جذرية، ولكن تراكيز Cobalmin والـ leghaemoglobin أيضا ازدادت. هؤلاء الباحثون اقترحوا بأن تركيز cobalmin يقدر leghaemoglobin من المحتمل بوساطة تأثيره في تكوين الهيم في الـ bacteriod. في النباتات التي تعاني من نقص Co بداية تثبيت N_2 قد تأخرت عدة أسابيع بسبب الدرجة المنخفضة للإصابة بالرايزوبيوم. الشيء المثير هو انه فقط ١٢٪ من Co الذي يوجد في العقد الجذرية يكون بصورة cobalamin الذي يثير تساؤل هل هناك أي وظيفة لما تبقى من CO. الكوبلت قد ظهر بانه ضروري لتثبيت N_2 ليس فقط في البقوليات بل أيضا في *Alnus* و *Azolla*

الجدول ٤٤: تأثير إضافة Co إلى ثبات *Lupinus angustifolius* الملقح والنامي في تربة تعاني من نقص الكوبلت في وزن العقد الجذرية وصفاتها للنباتات التي عمرها ستة أسابيع

	وزن العقد غم/وزن النبات	تركيز Co نانو غرام/غم مادة جافة	عدد ال bacteroid x 10^9	تركيز cobalamin نانوغرام/غم وزن	تركيز Leghaemoglobin ملغرام/غم وزن رطب
+CO	٠.٦	١٠٥	٢٧	٢٨.٣	١.٩١
-CO	٠.١	٤٥	١٥	٥.٩	٠.٧١

الكوبلت أيضا قد وجد بأنه مهم في تغذية الحيوان إذ تم التوصل إلى أن الكوبلت هو احد مكونات الفيتامين B_{12} المهم في العمليات الحيوية للنتروجين في الحيوانات المجترة. المستويات غير المناسبة من الكوبلت في أعشاب المراعي تؤدي إلى ظهور أعراض نقص في الحيوانات المجترة ومن هذه الأعراض فقدان الشهية وتوقف النمو وضعف القدرة الإنتاجية لهذه الحيوانات. المستوى الحرج للكوبلت في عليقة الحيوانات المجترة يقرب من ٠.٠٨ ملغم Co/كغم في المادة الجافة للعليقة، عليقة الحمية للحيوانات المجترة التي أساسها الأعشاب والحبوب تحتاج اعتيادياً إلى التجهيز بالكوبلت وذلك لان الأعشاب يكون محتواها من الكوبلت واطئاً. المستويات العالية من الكوبلت توجد في البقوليات، تركيز Co في النباتات العلفية البقولية هو عند المدى ٠.١٥ إلى ٠.٣٠ وللحشائش هو عند المدى ٠.٠٤ إلى ٠.٠٨ مايكرو غرام Co/ غم مادة جافة.

نقص الكوبلت يحصل في الأتربة الرملية المعرضة لعملية الغسيل وفي الأتربة المتكونة من الصخور النارية الحامضية وكذلك في الأتربة ذات المحتوى العالي من الكلس وفي الأتربة ذات المحتوى العالي من النباتات المتحللة. وتعد درجة تفاعل التربة بين المتعادلة والقاعدية عاملاً ملائماً لحصول النقص. لقد استعملت مستخلصات عديدة لتقدير الكوبلت الجاهز أو الذائب ومن هذه المستخلصات ٢.٥٪ حامض الخليك (الرقم الهيدروجيني ٢.٥) وخلات الأمونيوم ($Kmol/m^3$) المتعادلة أو ٠.٠٠٥-٠.٠٥مول/م^3 EDTA. إن استعمال حامض الخليك بعملية الاستخلاص للأتربة الزراعية يعطي مستويات للكوبلت بين ٠.٠٥ إلى ٢ ملغرام Co/كغم تربة. وجد بان النقص بالكوبلت يظهر عندما يكون محتوى الأتربة من الكوبلت هو ٠.١ملغم Co/كغم تربة. إن نقص الكوبلت يمكن أن يعالج عن طريق إضافة أملاحه بمعدل ١ إلى ٢ كغم/هكتار، ولكن عندما يكون محتوى التربة من معادن المنغنيز عالياً فانه يجب إضافة

كميات أكثر وذلك لان المنغنيز يعمل على التقليل من ذوبانية الكوبلت، في هولندا ٥٠ غرام من Co يحتاج إليها لرفع مستوى Co في التربة ٠.١ ملغرام Co/كغم تربة في المستخلص حامض الخليك. وجد Henkens بان إضافة slag الحاوي على Co أيضا يقلل لربما من نقص Co.

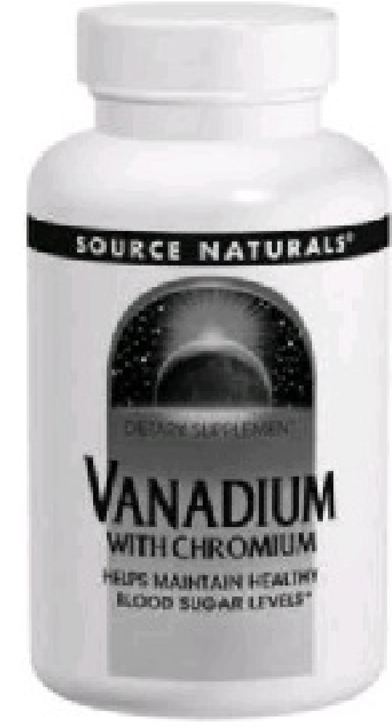
الذي فيه المعاملات التي لقحت بالرايزوبيوم مع الكوبلت وبدونه قد قورنت ليس فقط CO زاد من وزن العقد الجذرية، تركيز CO في العقد الجذرية، وعدد الـ bacteriods في كل عقدة جذرية، ولكن تراكيز Cobalmin والـ leghaemoglobin أيضا ازدادت. هؤلاء الباحثون اقترحوا بأن تركيز cobalmin يقدر leghaemoglobin من المحتمل بوساطة تأثيره في تكوين الهيم في الـ bacteriod. في النباتات التي تعاني من نقص CO بداية تثبيت N_2 قد تأخرت عدة أسابيع بسبب الدرجة المنخفضة للإصابة بالرايزوبيوم. الشيء المثير هو انه فقط ١٢٪ من CO الذي يوجد في العقد الجذرية يكون بصورة cobalamin الذي يثير تساؤل هل هناك أي وظيفة لما تبقى من CO. الكوبلت قد ظهر بانه ضروري لتثبيت N_2 ليس فقط في البقوليات بل أيضا في Alnus وAzolla .

لايزال غير واضح فيما إذا كان الكوبلت مهماً للنباتات الراقية فضلاً عن أهميته في تثبيت النتروجين تعايشاً الأدلة الأخرى التي تدعم احتياج النباتات الراقية للكوبلت. وجد أعراض نقص على نبات الحنطة والبرسيم الذي لا يكون عقداً جذرية التي تمثلت بظهور الاصفرار على الأوراق الحديثة التكوين معقدات الكوبلت ذات الأوزان الجزيئية الواطئة قد وجدت في النباتات النامية في وسط معقم وهذا مما يوضح اشتراك الكوبلت في العمليات الحيوية. لاتزال الحاجة إلى أدلة إضافية قبل عد الكوبلت عنصراً ضرورياً للنباتات الراقية. وتصنيفه.

الكوبلت أيضا قد وجد بأنه مهم في تغذية الحيوان إذ تم التوصل إلى أن الكوبلت هو احد مكونات الفيتامين B_{12} المهم في العمليات الحيوية للنتروجين في الحيوانات المجترة. المستويات غير المناسبة من الكوبلت في أعشاب المراعي تؤدي إلى ظهور أعراض نقص في الحيوانات. المستوى الحرج للكوبلت في عليقة الحيوانات المجترة يقرب من ٠.٠٨م لغم CO/كغم في المادة الجافة للعليقة. عليقة الحمية للحيوانات المجترة التي أساسها الأعشاب والحبوب تحتاج اعتيادياً إلى التجهيز بالكوبلت وذلك لان الأعشاب يكون محتواها من الكوبلت واطئاً. المستويات العالية من الكوبلت توجد في البقوليات، ان تركيز CO في النباتات العلفية البقولية هو عند المدى ٠.١٥ إلى ٠.٣٠ وللحشائش هو عند المدة ٠.٠٤ إلى ٠.٠٨ مايكرو غرام CO/ غم مادة جافة.

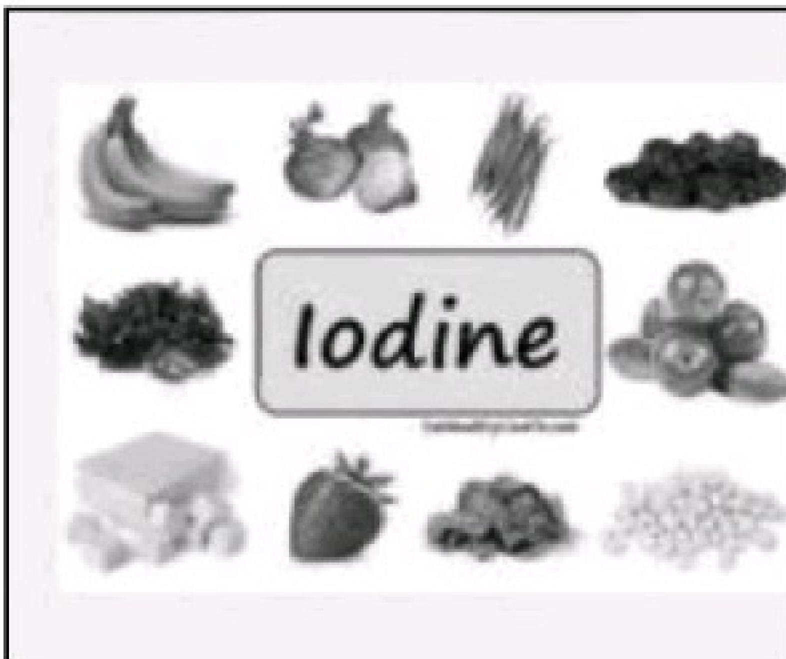
الفناديوم

ينتشر الفناديوم في المواد البيولوجية وهناك دراسات توضح بان للفناديوم تأثيراً إيجابيا في نمو الكائنات الحية الدقيقة والحيوانات والنباتات الراقية عند تواجده بتراكيز واطئة. الفناديوم عنصر ضروري للأشنات الخضراء التي فيها يحفز عملية التركيب الضوئي. على الرغم من عدم وضوح الدور الذي يلعبه، ولكن هناك بعض الأدلة توضح بان الفناديوم ربما يحل جزئياً محل المولبيديوم في عملية تثبيت النتروجين بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، وعلى الرغم من ذلك فان الأدلة للإحلال الجزئي في تثبيت النتروجين الجوي تعايشاً غير قوية وواضحة. في النباتات الراقية لا توجد أدلة لحد الآن بان V هو عنصر ضروري لأي نوعية من النباتات. تركيز V في الأجزاء العليا من النبات اعتيادياً واطئة وبالمدى ٠.٢–٤ ملغم V/كغم مادة جافة. نبات الخس والطماطم في محاليل غذائية ذات تركيز واطئ جداً من V واقل من الذي يحتاج إليه من قبل scenedesmus obliquus. لا دليل عن نقص V قد لوحظ وهؤلاء الباحثين ادعوا بأن V هو ضروري للنباتات وان المستويات الملائمة في أنسجة النبات هي اقل من ٢ ملغرام V/كغم مادة جافة، هذا التركيز هو بشكل ملحوظ أدنى من القيم الاعتيادية التي وجدت في مادة النبات. في الكميات الفائضة من V يمكن أن يكون V سأما ولقد لوحظ ذلك في تجارب الوسط المائي. ليس النقص وليس السمية ذات أي تأثير معنوي في ظروف الحقل.



اليود

اليود والبروم هما مثال أنموذجي للعناصر الثقيلة السامة وكل منهما قد وجد بأنه عنصر غير ضروري وأساسي للنبات ولكن لكل منهما تأثير محفز للنمو عند تواجدهما بتراكيز واطئة أو تأثير سام عند تواجدهما بتراكيز عالية. لقد لوحظ بأن لليود تأثيراً محفزاً عند وجوده بتركيز يقرب من مايكرو غرام/غرام وتأثيراً ساما عند تواجده بتراكيز تتراوح بين ٠.٥–١ مايكرو غرام/غرام. في التربة والمحلول الغذائي. هذا التركيز الأخير لليود هو اعتيادياً أعلى من التركيز الطبيعي لليود



الذائب في التربة ولذا فان سمية اليود في الترب الزراعية لم تلاحظ ولم تسجل. إن التأثير السام للمستويات العالية من اليود يبدأ في الأوراق القديمة من النبات، إذ في نبات الطماطم يحدث موتاً موضعياً في الأنسجة الورقية وبعد ذلك تتساقط الأوراق، بينما في الأوراق الحديثة التكوين يبقى اللون اخضر داكناً. التأثير السام يؤدي إلى إعاقة النمو وموت الأنسجة الورقية (نهاية الأوراق والحافات). وفي الحالات القاسية يؤدي التأثير السام إلى موت النبات. إن تركيز اليود الذي تظهر عنده السمية يختلف باختلاف النباتات، إذ انه في نبات الفاصوليا ٠.٧٥ مايكرو غرام/غرام مادة جافة في الأوراق بينما في أوراق نبات اللفت (Turnip) يكون أعلى من ٢٠ مايكرو غرام/غرام مادة جافة (Mack and Brasher). نباتات الحشائش والجت النامية في محلول مغذي تركيز اليود فيه (٠.١ مول/م^{٣}) تجمع إلى ما يقرب من ١٠٠ مايكرو غرام/غرام مادة جافة من اليود في الأوراق دون أن يؤثر ذلك في النمو. تراكيز اليود في الجذور هي أعلى مما هو عليه في الأوراق.

التراكيز الاعتيادية في النباتات السليمة تتراوح من صفر إلى ٠.٥ مايكرو غرام يود/غرام مادة جافة. إن المستويات العالية من الكلوريد (Cl^-) يمكن أن تقلل من التركيز السمي لليود (I^-). وهذا يعود إلى التأثير التزاحمي بين هذين العنصرين. يحتاج إلى اليود في تغذية الحيوان وذلك لكونه عنصراً ضرورياً للهرمون thyroxine. النباتات الراقية هي أيضا قادرة على اشتراك اليود في الـ thyrosine وبذلك تتمثل جزيئات مثل 3-iodothyrosine و 3,5-diodotyrosine و 3,3,5triiodothyronine التي تعود إلى الـ thyroxine. اليود الرابع المشتق (Iodine 4 derivates) قد يعمل بوصفه مثبطاً مثل iodoacetate الذي يتفاعل مع مجاميع suphhydril للأنزيمات. اليود ضرورياً للطحالب البحرية من نوع patalonia fascia، وبعض الطحالب البحرية قد تجمع اليود إلى تركيز يصل كأعلى حد إلى ١٠ مايكرو غرام/غرام مادة جافة. هناك بعض المؤشرات التي تؤكد على أن اليود يتجمع في خلايا متخصصة في الطحالب الحمراء والبنية.

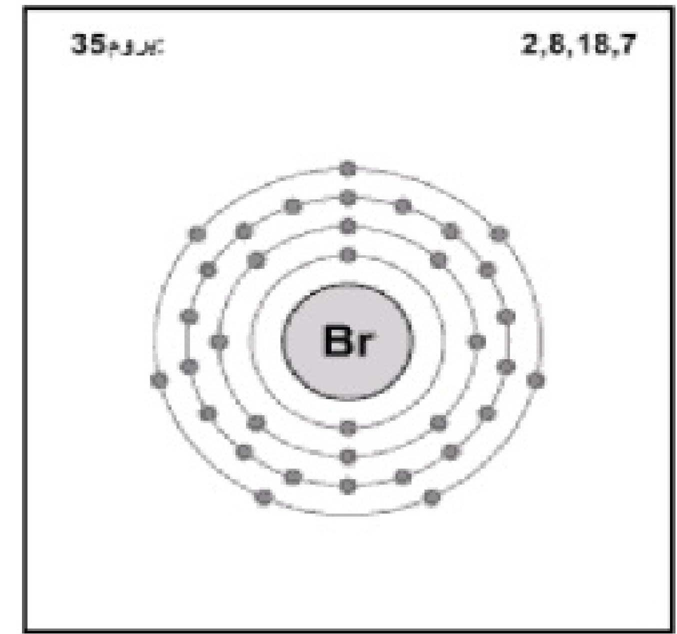
أهم الأغذية التي تحتوي عنصر اليود I (Iodine)

النباتية: الخس، لوبيا، فجل، شلغم، جرجير

مصادر أخرى: الحليب، ملح البحر، ملح المائدة المدعم باليود، المحار، السلمون، المكسرات المملحة

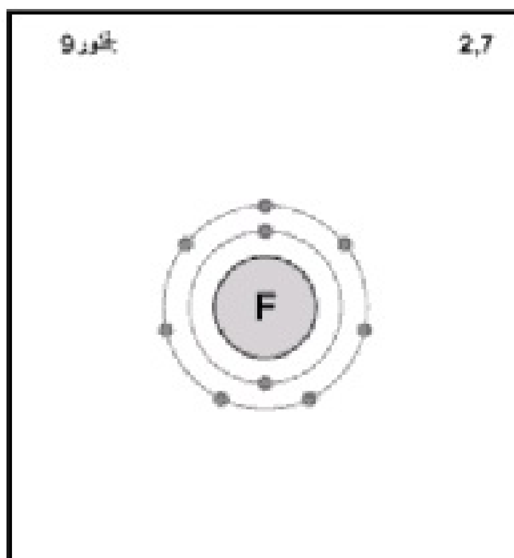
البروم

يمتص النبات البروم على شكل Br^- وبصورة عامة فان سمية البروم اقل من سمية اليود، ويوجد اعتيادياً بمستويات واطئة جداً في التربة ولذا فان سمية البروم غير متواجدة طبيعياً. في السنوات السابقة ونتيجة لاستعمال المواد المعقمة للتربة الحاوية على البروم مثل methyl bromide وجد هناك تأثير سام في النباتات الحساسة مثل Carnation و Chrysanthemums والبطاطا والسبانخ والبنجر السكري. المبيد Bromoxynil (3.5 dibromo-4-hydroxybenzonitrile) قد يثبط dicarboxylate carriet في الغشاء الداخلي للميتاكوندريا وبهذا فان ذلك يمنع دخول الماليت وال succinate. إن أعراض سمية البروم تشبه الأعراض الناتجة عن زيادة الأملاح إذ إن الأوراق



في أكثر الأحيان يصبح لونها اصفر ويتبع ذلك موت الأنسجة الموضعي لنهايات الوراق والحواف. وكذلك وجد بان سمية البروم تؤدي إلى جعل عملية الإنبات للبذور ضعيفة جداً. هناك بعض الأنواع من النباتات تكون غير حساسة للبروم مثل الجزر والتبغ والطماطم، وهذه النباتات تستطيع أن تجمع أكثر من ٢٠٠٠ مايكرو غرام Br/غرام مادة جافة بدون ظهور أي تأثير ضار. المستويات الاعتيادية للبروم في التربة للنباتات النامية فيها هي اعتيادياً اقل من ذلك بكثير وهي عند المستوى صفر-٢٦٠ مايكرو غرام Br/غرام مادة جافة. والتراكيز المنخفضة لهذا المستوى من التراكيز هي اكثر تواجداً. البروم يحل محل جزء من -Cl. الذي يحتاجه النبات. أن جزءاً من هذا التأثير للبروم في عملية الإحلال هذه هو نقل الكلوريد من الجهات غير النشطة مثل الجذور إلى مناطق حساسة ونشطة أخرى، ولاحظ هؤلاء الباحثون أيضا بأن أعراض نقص الكلوريد يمكن التغلب عليها لدرجة ما بإضافة البروم.

الفلور



مستوى الفلور في مادة النبات الجافة يتراوح بصورة عامة بين ٢-٢٠ مايكرو غرام F/ غرام مادة جافة في بعض النباتات لها القابلية على تجميع كميات اعلى من ذلك. النبات السام Dichapetalum cymosum في يجمع إلى ما يقرب من ٢٠٠ مايكرو غرام/غرام. والفلور في هذا النبات يوجد على شكل

خلات الفلور التي تكون سامة للحيوانات وذلك لأنها تتحول إلى سترات الفلور عند تغذية الحيوان على هذا النبات. سترات الفلور توقف عمل الأنزيم aconitase الذي يكون مسؤولاً عن تحويل السترات إلى isocitrate في دورة TCA. الشاي التجاري قد وجد بأنه يحتوي على مستويات عالية من الفلور وتصل هذه المستويات إلى ٤٠٠ مايكرو غرام F/غرام مادة جافة. والفلور أيضا يكون على شكل خلات الفلور. كميات عالية من الفلور تحدث السمية أثناء عملية التغذية.

المستويات العالية من الفلور تكون اعتيادياً سامة للنباتات. وان التنفس يمكن أن يحفز أو يتوقف بوجود الفلور، بان عملية التعقيم بالتبخير لنبات فول الصويا باستعمال HF في البداية تحفز عملية التنفس وبعد ذلك تعمل على إيقافها. الأنزيمات enolase العائدة لعملية التنفس تكون حساسة جداً حتى للمستويات الواطئة من الفلور. السبب الذي يعود إليه تحفز عملية التنفس البداية بوجود الفلور غير واضح. أن نشاط الأنزيمات dehydrogenase glucose-6-phosphate و catalase و peroxidase و cytochrome oxidase، في نبات فول الصويا تزداد بوجود الفلور وهذا قد يعود إليه تحفز عملية التنفس أولا. الفلور يوقف عمل الأنزيم Pyrophosphates غير العضوي وبذلك فانه يحفز أكسدة الأحماض الدهنية الحرة. يمنع أيضا سيطرة ATP على حركة H^+ATPase العائد لغشاء البلازما الذي يوقف أيضا بوساطة fluoroaluminate و Al^{3+} . لقد وجدت سمية الفلور فقط في الحقول الموجودة تحت ظروف التلوث الصناعي يوجد حامض الهيدروفلوريك. وان تعرض النباتات لتراكيز قليلة (بضع أجزاء بالبليون) من حامض الهيدروفلوريك لعدة اشهر يؤدي إلى حصول عملية التسمم. أعراض التسمم تختلف من نبات لأخر ولكن هناك نوعان من الأعراض الأساسية المتشابهة تحصل وهي موت الأنسجة الموضعي في حافات الأوراق وتسمى هذه في بعض الأحيان burnt tip واصفرار العروق الوسطية. في معظم أنواع النباتات تظهر أعراض أولية وهي اصفرار الحواف وتلفها واصفرار العروق الوسطية، ولكن يوجد هناك أنواع قليلة من النباتات مثل الذرة الصفراء فقد يظهر عليها الاصفرار.

بعض المحاصيل تكون اكثر حساسية من غيرها لسمية حامض الهيدروفلوريك وهذه المحاصيل تضم الأعناب وأشجار الفاكهة وبصورة عامة فان المحاصيل التي يتجمع بداخلها مستويات عالية من الفلور تكون اقل حساسية. أعراض سمية الفلور

إن جاهزية الفلور في التربة اعتيادياً لا تعود أو تعتمد على المحتوى الكلي للتربة من الفلور. الشكل الذي يحتوي على الفلور يمتصه النبات هو الفلوريد الذائب وان من أهم العوامل التي تسيطر على مستويات هذا

الشكل من الفلور في محلول التربة هي درجة تفاعل التربة وكميات الكالسيوم والفسفور الموجودة فيها. عندما تكون درجة تفاعل التربة عالية أو عندما يوجد الكالسيوم والفسفور بكميات عالية فان الفلور يثبت على شكل فلوريد الكالسيوم (CaF_2) أو على شكل (Aluminium silicofluoride) $Al_2(SiF_6)_2$.

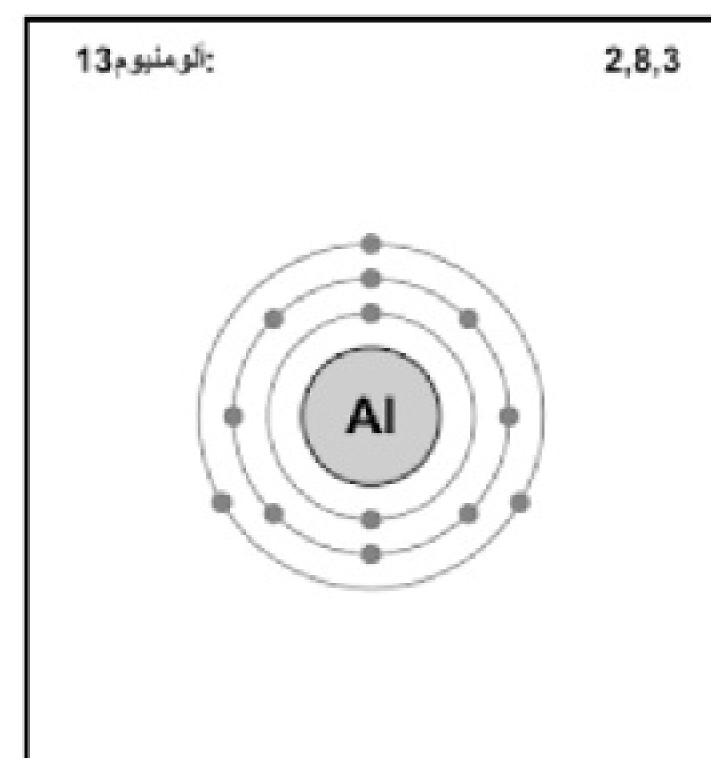
وكذلك على الرغم من وجود الفلوريد الذائب بمستويات عالية كما هو عليه في الأترية الحامضية فان F^- لا تمتصه جذور النبات بسهولة هذا الامتصاص الواطئ للفلور. تم مقارنة بين امتصاص F^- بامتصاص Cl^- بوساطة جذور الشعير، ووجد بأنه عندما تكون تراكيز كل من Cl^- و F^- متساوية عند سطح الجذور فان امتصاص Cl^- يكون أكثر ١٠٠ مرة عما هو عليه من امتصاص F. هذه التأثيرات للجاهزية الواطئة والجهد الامتصاصي الواطئ لهذا العنصر تؤكد احتواء واحتياج النبات على كميات قليلة جداً من الفلور وزيادة الامتصاص بذلك تؤدي إلى حصول التسمم. إن موضوع الفلور وحياة النبات.

أهم الأغذية التي تحتوي عنصر الفلوريد F (Fluoride)

١. النباتية: التفاح، الشاي
٢. الحيوانية: كبد العجل، سمك القد، البيض، كلى الحيوانات، السلمون، السردين
٣. الماء

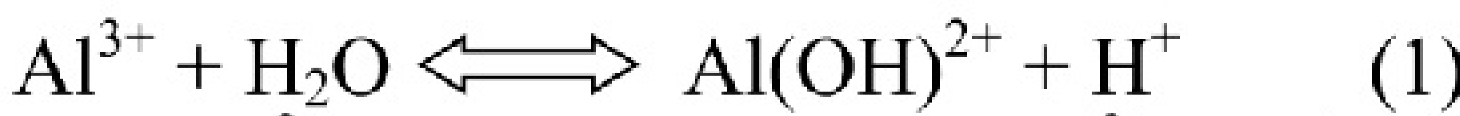
الألمنيوم

أكثر من ١٥٪ من قشرة التربة تتكون من Al_2O_3، ولهذا فان الألمنيوم هو احد المكونات المهمة للتربة إذ انه مع السليكون يكونان الجزء الرئيس في صفائح المعادن الأولية ومعادن الطين الثانوي. إن ذوبان الألمنيوم في الأترية المتعادلة والقلوية قليل جداً وبهذا فانه لا يكون سأما للنباتات في هذه الأترية. النباتات الراقية اعتيادياً تحتوي على ماي قرب من ٢٠٠ ملغرام AL/كيلوغرام مادة جافة. في نبات الشاي قد يكون من ٢٠٠٠-٤٠٠٠ ملغرام AL/كيلوغرام مادة جافة، أن الألمنيوم ضرورياً لنمو نبات الشاي بوصف عام يكون محتوى الجذور من الألمنيوم أعلى بكثير من محتوى أجزاء النبات العليا، وقد افترض بان ألمنيوم الجذور يثبت في الفراغ الحر للخلية.



الربط المتقاطع للألمنيوم في شطر البيكات لخلايا الجذر المرستيمية قد تؤثر في تمدد خلايا الجذر ونفاذيتها للماء.

ذوبانية الألمنيوم تعتمد بصورة كبيرة على درجة تفاعل التربة. ان انخفاض درجة تفاعل التربة قد يؤدي إلى انتتاج مستويات عالية من الألمنيوم الذائب تكون سامة للنبات. ان ذوبانية مركبات الألمنيوم وتكون كتيونات الألمنيوم (Cationic Al) هي مسألة معقدة. إن ذوبان Al^{3+} في الماء ينتج عنه مركبات الألمنيوم الأحادية الذائبة كما موضح في أدناه.



$$Al^{3+} + H_2O \Longleftrightarrow Al(OH)^{2+} + H^+ \quad (1)$$

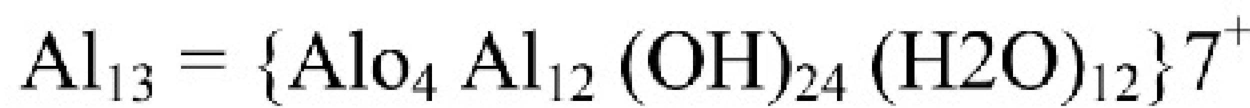


$$Al(OH)^{2+} + H_2O \Longleftrightarrow Al(OH)^{2+} + H^+ \quad (2)$$



$$Al\ (OH)^{2+} + H_2O \Longleftrightarrow Al(OH0_3) + H^+ \quad (3)$$

من الواضح في هذه المعادلات بان زيادة درجة تفاعل التربة تؤدي إلى تكون هيدروكسيدات الألمنيوم (Al-OH) الكاتيونية النوعية لكونها ظروف ملائمة لتحفيز تنظيم (arran gem ent) هيدروكسيدات الألمنيوم المتعددة النوعية (polyhydroxyl Al species) أو ترتيبها. وهذه تكون ذوبانيتها اقل من Al^{3+} و $Al(OH)^{2+}$. المعادلة الأولى لها pK تساوي O وهذا يعني بأنه عند درجة التفاعل O تكون تركيز Al^{3+} مساوياً لتركيز $Al(OH)^{2+}$ عند درجة التفاعل O فان تراكيز كل من Al^{3+} و $Al(OH)^{2+}$ تكون اعتيادياً منخفضة ولا يكون لها تأثير سام. وعند درجات التفاعل الأقل فان ذوبانية صورتي الألمنيوم الكاتيونية هذه تزداد. أنه غير معلوم أي صور الألمنيوم هي في الحقيقة سامة. هناك مؤشر واضح بان ذوبانية معادن الألمنيوم تزداد بانخفاض درجة تفاعل التربة. في هذا المستوى المنخفض لدرجة التفاعل ليس صور الألمنيوم الأحادية (ألمنيوم واحد) مثل Al^{3+}، $Al(OH)^{+2}$ و $Al(OH)^{2+}$ تكون موجودة فحسب بل الصور متعددة الألمنيوم تتكون والأكثر سمية كذلك منها هي triskaideka Al.



$$Al_{13} = \{Alo_4\ Al_{12}\ (OH)_{24}\ (H2O)_{12}\}7^+$$

أن تكون هذه الصورة من الألمنيوم ليس يعتمد على درجة تفاعل التربة فحسب بل يعتمد على تركيز صور الألمنيوم الكاتيونية الأخرى على تراكيز Ca^{2+} والكبريتات كذلك إن هذه الصور قد تختلف في منطقة الرايزوسفير والجذر (root apoplast) فانه يكون من الصعوبة اختبار أي من الصعوبة اختبار أي من صور الألمنيوم الكاتيونية هي السامة. صورة الألمنيوم Al_{13} هي سامة عند التراكيز الواطئة جداً والتي يكون من الصعب تمييزها. الألمنيوم أيضا يتأثر بسمية البروتون التي قد تزداد بوجود Al^{3+}. صورة الألمنيوم $Al(OH)^-_4$ (aluminate) التي تتكون عند درجة تفاعل هي اكبر من 7.9 غير سامة ولكن قد

تؤدي إلى زيادة تركيز Al_{13} في الـ apoplast بسبب درجة التفاعل المنخفضة إن ذوبانية الألمنيوم تعتمد بصورة كبيرة على درجة تفاعل التربة. درجة التفاعل المنخفضة قد ينتج عنها مستويات عالية من الألمنيوم تصل إلى حد السمية للنبات. في العديد من الترب الحامضي ليس التراكيز العالية من الهيدروجين في محلول التربة تكون بمثل التراكيز العالية من الألمنيوم التي تكون مضرة للنبات ولاسيما.

وكذلك تكون مضرة في المعيشة التكافلية بين الرايزوبيوم والبقوليات legume-Rhizobium symbiosis، حيث إن الألمنيوم يوقف من تكاثر الرايزوبيوم في التربة وكذلك يؤثر سلباً في تكون العقد الجذرية.

في الترب الحامضية الطبيعية المزروعة تزداد الحامضية لها كلما تعمقنا في مقد التربة لذا فان تعمق الجذور يتحدد ويقل بذلك امتصاص الماء والعناصر من هذه الأعماق. إن أول تأثير للألمنيوم في النبات هو الحد من نمو الجذور. وكذلك يؤدي إلى تثخن نهايات الجذور والجذور الرئيسة ويتغير لونها إلى البني. الحد من نمو الجذور يكون مرتبطاً بتكون الكالس (Callose). بان الألمنيوم كونه سمية يسبب في فقدان سيطرة قمة الجذور (apical dominance)، ولذا فان نمو الجذر الرئيس يتوقف كلياً وان نمو الجذور الجانبية يتحفز. مع سمية الألمنيوم يقل حجم جذور نبات الذرة الصفراء (root cap) وان خلايا قلنسوة الجذر تظهر تجاويف فيها، وان تركيب النواة والنوية تتأثر بالسمية وكذلك تركيب خلايا Golgi. سمية الألمنيوم لا تنشأ من تأثير Al في DNA بل سببها يعود إلى تأثير الألمنيوم في ميكانيكيات التنظيم في نهايات الجذور. الألمنيوم يرتبط بالـ Calmodulin وقد في هذا الطريق يتعارض مع فعاليات عدد من الأنزيمات. الألمنيوم يزيد من تركيز الكالسيوم في السيتوبلازم لخلايا قمة الجذور وأواصر سلباً في العمليات الحيوية في السيتوبلازم. إن كايتونات الألمنيوم بأنواعها وكذلك معقد Fluoroaluminate تثبط عمل H^{+}ATPase العائد لغشاء البلازما مما يؤثر سلباً في الامتصاص الأيوني. أن الألمنيوم يقلل من امتصاص المغنيسيوم. ووجد في غشاء أبصال نبات البصل المعزول بأن الألمنيوم وبصورة خاصة يكون حاجزاً لقناة الكالسيوم مما يعيق امتصاص الكالسيوم.

إن سمية الألمنيوم في كثير من الأحيان تظهر في الترب الحامضية إذ تتداخل مع حامضية الهيدروجين، وهذا التداخل السمي يحد من نمو الجذور. الألمنيوم يوقف انقسام الخلايا التي هي عملية غير عكسية مقارنة بعملية التثبيط الناتجة عن الهيدروجين والتي هي عملية عكسية هاتان العمليتان السامتان قد تؤثرا سلباً في نمو النبات، وهذه الحالة صحيحة مع الترب الحامضية التي سبب حموضتها وجود الكبريتات. في الترب التي تكون درجة

00:24:34

تفاعلها منخفضة. وجد في كثير من الأحيان سمية لعنصري المنغنيز والحديد عندما تكون جاهزية كل من الكالسيوم والمغنيسيوم منخفضة. إضافة اللايم هو أفضل طريقة أو وسيلة للسيطرة على سمية الألمنيوم في الترب الحامضية.

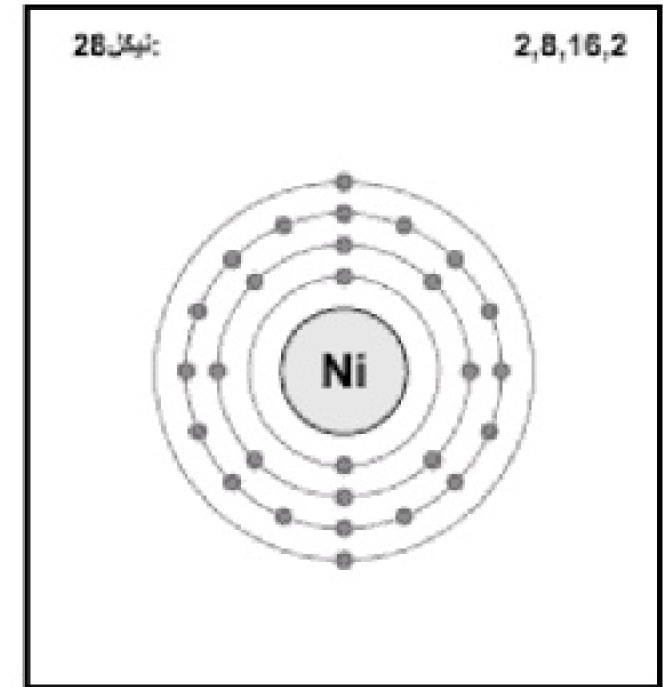
النباتات بأنواعها وأصنافها من ذات النوع تختلف بصورة واضحة في مقاومتها للتراكيز العالية من الألمنيوم الذائب أو المتبادل. إن أصناف نبات الحنطة المقاومة للتراكيز العالية من الألمنيوم تكون جينياً (أي معدة وراثياً) مقاومة للألمنيوم من خلال ميكانيكية تثبيط عملية امتصاص الألمنيوم. الخطوط الوراثية لنبات الحنطة المقاومة للألمنيوم لها قابلية مقاومة ٥–١٠ مرات أكثر من الخطوط الوراثية الحساسة للألمنيوم. إن استجابة الخطوط الوراثية المقاومة للألمنيوم، عندما يتم إضافة الألمنيوم إلى الوسط الغذائي، تكون من خلال زيادة معدل فرز الحامض الأميني malate لخلب الألمنيوم وبهذا يصبح الألمنيوم غير سام. إن هذه الزيادة في معدل تحرر وفرز الانيونات العضوية هو مفتاح لميكانيكية مقاومة الألمنيوم في النبات.

السبب الآخر الذي يعود إليه اختلاف الأصناف في استجابتها للألمنيوم هو اختلاف مقدرة النباتات في تنظيم درجة التفاعل لمنطقة تداخل التربة مع جذور النبات. لذا فان التغذية بالنترات تزيد من درجة تفاعل تربة منطقة الجذور مقارنة بالتغذية بوساطة الأمونيوم، وارتفاع درجة التفاعل تقلل من ذوبانية الألمنيوم في التربة. خلط تبن نبات الدهن بالتربة أدى إلى رفع درجة تفاعل التربة من ٤.١٠ إلى ٤.٦٦ والذي أدى إلى تقليل الألمنيوم الذائب. وطبقاً لما أشار إليه مؤلفو هذا انخفاض ذوبانية الألمنيوم لا تعود إلى ارتفاع درجة تفاعل التربة فحسب بل تعود أيضا إلى خلب الألمنيوم بالانيونات العضوية التي تنتج في عملية تحلل تبن نبات الدهن بوساطة الكائنات الحية الدقيقة.

في بعض أصناف الحنطة المقاومة للألمنيوم ميكانيكية المقاومة تعود إلى حقيقة كون أن هذه الأصناف قادرة على امتصاص النترات بمستويات عالية بوجود الأمونيوم وبهذا يتم تجنب الانخفاض بدرجة تفاعل التربة لمنطقة الجذور. وكذلك فان مقاومة الألمنيوم يمكن أن تعتمد على إبعاد إشراك الألمنيوم في العمليات، عند دراسة لنبات Cowpeas بان طبقة mucilage الموجودة حول نهاية الجذور تعمل على حماية أنسجة الجذور الحديثة من سمية الألمنيوم. مقاومة الألمنيوم يمكن أن تحصل من خلال خلب الألمنيوم بوساطة الأحماض العضوية والفينول المتعدد ومثال على ذلك ما يحصل في نبات الشاي الذي يمتص كمية كبيرة من الألمنيوم وتخزن في الأوراق القديمة ويتم إبطال التسمم من خلال ارتباطها بالمركبات العضوية.

النيكل

النيكل يشبه بدرجة كبيرة الكوبلت في صفاته الكيمياوية والفسيولوجية. النيكل يكون مركبات مخلبية بسهولة



ويستطيع أن يحل محل المعادن الثقيلة الأخرى في الجهات الفسيولوجية المهمة. التركيز العالي للنيكل ذو تأثير سام في النباتات. في نباتات الشوفان وجد بأن سمية النيكل تشبه نقص أعراض الحديد وهذا قد يعود إلى إزاحة الحديد بوساطة النيكل. التركيز العالي للنيكل في الوسط الغذائي يقلل من امتصاص معظم العناصر الغذائية الأخرى. أن هذا النقص بالامتصاص ناتج عن تلف الجذور بوساطة التركيز العالي للنيكل.

إن السمية الحادة للنيكل تؤدي إلى ظهور اللون الأصفر على النبات. في محاصيل الحبوب تظهر شرائط من اللون الأصفر الشاحب على طول الورقة، وفي بعض الحالات قد يتغير لون الورقة إلى اللون الأبيض وفي الحالات الشديدة يحدث موت موضعي لأنسجة حافات الورقة. في النباتات ذوات الفلقتين سمية النيكل تظهر على شكل لون اصفر بين عروق الورقة وهذه الأعراض تشبه أعراض نقص المنغنيز.

معظم الأترية تحتوي على كميات قليلة جداً من النيكل واعتيادياً تكون هذه الكميات اقل من ١٠٠ مايكرو غرام Ni/غم تربة واقل من المستويات التي تظهر عندها سمية النيكل. الإضافة الثقيلة ولمدة طويلة من فضلات المدينة الملوثة قد تقود إلى زيادة ملحوظة في مستوى Ni في التربة السطحية.

الترب المشتقة من الصخور النارية (ultrabasic) ولاسيما الـ Serpentine قد تحتوي من ٢٠ إلى ٤٠ ضعفاً التركيز الذي ذكر في الترب (١٠٠ مايكرو غرام/غم تربة) وبهذا فان سمية النيكل في مثل هذه الأترية شيء معروف ومتوقع حصوله. أترية الـ Serpentine توجد في مختلف المناطق من العالم مثل في الجبال الموجودة على سواحل المحيط الهادي في الولايات المتحدة وفي شمال إسكتلندا وفي جزء من البلقان وفي جنوب روسيا. في عملية التجوية المعدن Serpentine $\{mg_3Si_2O_5(OH)_4\}$ يكون أترية تنمو عليها أعشاب متميزة وغطاء نباتي غير كثيف. هذه الأترية تكون غنية بالمغنيسيوم والحديد وفقيرة بالكالسيوم فضلاً عن ذلك فإنها تحتوي على مستويات عالية من النيكل والكوبلت والكروم.

لقد وجد ما يقرب من ٢٥٠ مايكرو غرام من النيكل المتبادل /غم تربة في الطبقة السطحية للأترية الحمراء المتكونة من المعدن Serpentine عند مقارنتها مع الأترية الزراعية الأخرى الحاوية على ١ مايكرو غرام من النيكل. في ترب الـ Serpentine تكون النسبة بين الكالسيوم المتبادل إلى المغنيسيوم

المتبادل (Ca/Mg) واطئة جداً وفي أكثر الأحيان تكون اقل من ٠.٠٤. محاصيل الحبوب عدا الشوفان تكون قادرة على النمو تحت مثل هذه الظروف.

الأنواع المتفوقة على ترب الـ Serpentine هي Cerastium holostoides و Silene vulgaris ولها استراتيجيات مختلفة لتنمو مع الظروف على ترب الـ serpentine. إن Cerastium تستطيع أن تقاوم التراكيز العالية من Mg والعناصر الثقيلة في الأوراق، بينما في silene فان مقاومة التراكيز العالية من Mg والعناصر الثقيلة في التربة تعتمد على عزل مثل هذه العناصر.

هناك أدلة على أن تراكيز العناصر الثقيلة في أجزاء النبات العليا لنوع Cerastium هي اعلى بكثير مما هو عليه في silene. السبب في ذلك لماذا Cerastium تستطيع مقاومة مثل هذه التراكيز العالية من Fe، Ni و Cr هي مفهومة إلى وقتنا هذا. من المحتمل أن هذه العناصر قد خلبت وبهذا تزال سميتها.

سمية Ni يمكن أن تخفض في الكثير من الأحيان بإضافة الجير. وإضافة الجير لا تقلل فقط من جاهزية النيكل والكروم بل تعمل أيضا على زيادة قيمة النسبة بين (Ca/Mg) الكالسيوم والمغنيسيوم المتبادل. إضافة البوتاسيوم أيضا تقلل من ظهور سمية النيكل ولكن إضافة الفسفور يعمل العكس. اعتيادياً يكون محتوى النبات من النيكل بين ٠.١– ٥ مايكرو غرام Ni/غم المادة الجافة. في ترب الـ Serpentine قد يصل محتوى بعض الأنواع من النباتات من النيكل إلى أكثر من ذلك بكثير. ومثل هذا التركيز يكون سأما للنباتات غير المتأقلمة لمثل هذه الأتربة. لقد وجد عند زيادة مستويات النيكل المضافة إلى تربة رملية بان تركيز النيكل في المادة الجافة للنبات مختلفاً وكان بين ١–١٠٠٠ مايكرو غرام Ni/غم مادة جافة. أعراض سمية النيكل على الشوفان والنباتات الحساسة قد لوحظت عندما كان محتوى النباتات من النيكل أعلى من ١٠٠ مايكرو غرام N/غم. إن امتصاص النيكل من قبل النباتات قليلة الحساسية اقل من النباتات الحساسة. وجد بأن النيكل يتحرك جزيئاً في اللحاء ويوجد في عصير اللحاء بوصفه نيكلاً حراً (Ni^{2+}) ويخلب إلى الستريت (Citrate).وكمية لابأس بها من النيكل تنتقل إلى البذور والثمار

Ni عنصر ضروري لإنبات بذور الشعير وان النباتات نمت لثلاثة أجيال في محلول غذائي خال من Ni أنتجت حبوباً ذات تراكيز واطئة جداً من Ni. إنبات الحبوب انخفض بشكل هائل عند التراكيز التي هي اقل من ١٠٠ نانو غرام/غم في الحبوب. الباحثون قادرون على الحصول على أعراض النقص التي تحتوي على اصفرار العروق الوسطية للحنطة والشعير والشوفان، الـ Ni هو من العناصر الصغرى لمحاصيل

الحبوب. لقد وجد بأن Ni هو جزء مكمل للأنزيم urease المعزول من بذور البازلاء Jack bear seeds) لذا فالنباتات التي تنمو اعتماداً على اليوريا كنتروجين تحتاج إلى Ni ، وانه عند غياب Ni قد تتجمع اليوريا إلى مستويات سامة. السؤال حول ضرورة Ni قد درسه بنشرة مراجعة مصادر مهمة. فضلاً عن ذلك الأنزيمات التي تحتوي على النيكل قد وجدت في البكتريا. إن methylcoenzyme-m redactase الذي يساعد الخطوة الأخيرة في إنتاج الميثان في البكتريا نوع methagene هو أنزيم ذات حلقة tetrapyrol مع Ni يوجد في المركز لهذه الحلقة (Thauer 1986). بعض أنزيمات hydrogenases تحتوي على Ni أيضا، وفي هذا الجانب فان الـ hydrogenases في البكتريا المثبتة للنيتروجين (N_2) والمشاركة في كفاءة أنزيم الـ Nitrogenase هي مهمة ومثيرة. أنواع البقوليات الاستوائية المثبتة لـ N_2 (مثل فول الصويا) تجمع كميات كبيرة من ureides. والهدم الأنزيمية لهذه المواد لا يحتاج إلى urease وبهذا فانه أيضا ليس هناك حاجة للنيكل لهذه الغاية.

الكروم

لقد تولد اهتمام كبير في الكروم بعد أن اكتشف اشتراكه في العمليات الحيوية للكلوكوز في اللبائن وظهر بأنه ضروري للإنسان والحيوان ولكن إلى وقتنا هذا لم تتوضح أهميته للنبات. إن مستويات الكروم الكلي (Cr) في الصخور الرسوبية والنارية تكون اعتيادياً بين المستويات الواطئة إلى مستوى حد الأعلى ١٠٠ مايكرو غرام/غرام، لمعظم الترب تركيز Cr هو بالمدى ١٥-١٠٠ مايكرو غرام/غرام تربة ويزداد نسبة إلى الطين. والترب المشتقة من الـ serpentire قد تحتوي على بضع نسب مئوية (Several per cent) Cr. كروم التربة يكون غير جاهز للنبات بسبب وجود على شكل مركبات غير ذائبة نسبياً مثل Chromate Fe Cr_2O_4 في الأكاسيد المختلطة من الكروم والحديد والألمنيوم أو على شكل صفائح سلكياتي.



إضافة Cr^{3+} يرتبط بقوة مع سطوح الطين والمادة العضوية ذات الشحنات السالبة. ولهذا السبب فان انتقال Cr من الترب إلى النباتات هو بوصف عام غير معنوي. إن الـ (Hexavalent Cr) Chromate يكون تواجده نادراً نسبياً ويكون بحالة ثابتة (Stable) فقط في الظروف القلوية

المؤكسدة. معدل امتصاص الكروم وانتقاله من قبل النبات واطئ، لقد اقترح بان Cr^{3+} و CrO_4^{2-} تمتص من خلال ميكانيكيتين مختلفتين، امتصاص CrO_4^{2-} يقل بوساطة SO_4^{2-}.. كان هناك ميل لإضافة الفسفور المنصهر (Fused phosphate) لزيادة مستوى Cr في التربة. النباتات التي تعاني من التأثير السام للكروم لها جذور صغيرة وأوراق رفيعة ملونة باللون البني المحمر ومغطاة ببقع ذات أنسجة ميتة. انخفاض الحاصل في أتربة الـ Serpentine ذات المحتوى الخصب للتربة غير الجيد قد ينتج عن سمية الكروم وعوامل أخرى.

السلينيوم Selenium

السلينيوم يشبه الكبريت من حيث صفاته الكيمياوية. في عملية الامتصاص هناك تأثير تزاحمي بين أيونات السلينيوم والكبريتات وهذا يدل على أن كلا الأيونين لهما الصلة الانجذاب والنظام نفسه في عملية الامتصاص. السلينيوم يوجد في الترب بصورة عضوية كما انه يوجد بصورة معدنية انيونية مثل Selenide (SeO_3^{2-})، (SeO_4^{2-}). إن Selenite و Selenate قد تدمص لمعادن الطين، وان قوة الإدمصاص تزداد مع انخفاض درجة التفاعل. في معظم الترب Se يتواجد بتراكيز واطئة جداً وفي الكثير من الأحيان اقل من ٠.٢ مايكرو غرام/غرام. في الترب الحامضية والمتعادلة جاهزية Se منخفضة وان Se في الكثير من الأحيان يوجد Se لربما مثبت على صورة Ferric selenite. العنصر قد يوجد في الترب في حالات ريدوكسية مختلفة اعتماداً على الجهد الريدوكسي للتربة، درجة تفاعل التربة وعلى نشاط الكائنات الحية الدقيقة. أن النترات لربما تؤكسد Se من الحالة المؤكسدة الواطئة (Se^{2-}, SeO_3^{2-}) إلى SeO_4^{2-}. وبذلك يصبح Se متحركا في التربة. العملية التي تلعب دوراً خاصاً ومهماً في hydrogeologic لحركة Se إلى البيئة، والنترات يمكن أن تشارك في هذه الحركة. تجارب مختبرية وحقلية قد وضحت بان اختزال Selenate في ترسبات التربة الرطبة هي عملية تحصل بوساطة الكائنات الحية الدقيقة. نواتج الاختزال هي بشكل رئيسي عنصر Se أو Se المرتبط عضوياً ذات الذوبانية الواطئة.

الـ Selenate الذي يتواجد فقط في الترب القاعدية ذات التهوية الجيدة حيث يمتص من قبل النباتات بمستويات اعلى من Selenite ولهذا فانه المصدر المهم المباشر لامتصاص النباتات. مثل هذه الترب الغنية بالمستويات العالية من Selenate قد وجدت بشكل رئيس تحت الظروف المناخية الجافة في الترب التي يتكون فيها Seleniferous. التنقيب عن اليورانيوم، الفحم أو البينتونيت كثيراً ما ينتج عنه تلوث قاس

للتربة بفائض من Se . سمية السلينيوم تزداد بعد أكسدة السلينيوم إلى Selenate التي تحصل مع حفر المناجم عندما طبقات التربة العميقة تصبح على اتصال مع الهواء. السلينيوم هو اكثر العناصر غنى في الفحم والمواد الكربونية. زيادة ذوبانية وحركة السلينيوم يؤدي إلى تلوث الترب والماء الأرضي والجوفي بالسلينيوم.

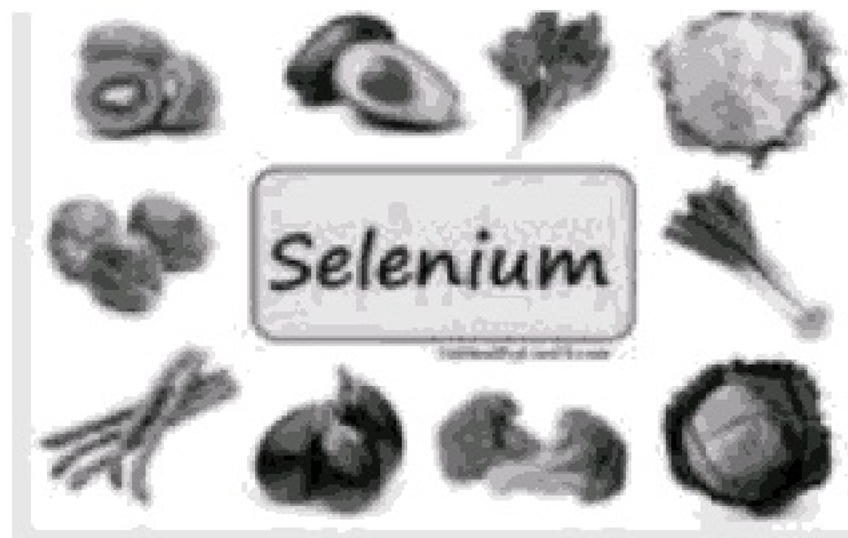
إن تراكيز Se في المستخلصات لعجينة التربة المشبعة بالماء ترتبط بدرجة كبيرة مع تركيز Se في النباتات. تراكيز Se في أجزاء النبات العليا لمعظم أنواع المحاصيل هي بالمدى من إلى ١٠ مايكرو غرام Se/غرام مادة جافة. أعراض سمية السلينيوم قد تختلف باختلاف أنواع النباتات. في الحشائش اصفرار الأوراق الأبيض الثلجي (Snow-White Chlorosis) وأنسجة الجذر ذات اللون الأحمر الوردي (Pink Root). الفائض من Se يؤدي إلى تعتزم النباتات واصفرارها باللون الأصفر (Yellow Chlorosis) والنمو يثبط وتراكيز Se في النباتات تزداد.

في المواقع الغنية بالسلينيوم تطورت أنواع نباتية تقاوم التراكيز العالية من Se في النبات. وهذه الأنواع التي تجمع Se تعود إلى الجنس Astragalus و Stanleya و Haplopappus النباتات الدليل (Seleniferous) مثل Milk Vetches. ومن أصنافه Astraglaus Blsulcatus و A.Pectinatus هي نباتات طبيعية لمثل هذه الأتربة. وهذه الأصناف تستطيع تجمع كميات كبيرة من السلينيوم، بينما الأعشاب المستوطنة النامية في الترب نفسها هي ذات محتوى واطئ من تركيز Se. من ما يقرب ٥٠٠ نوع من Astragalus في أميركا الشمالية ٤٧٥ هي غير مجمعة للسلينيوم. وتركيز Se فيها اعتيادي يقرب من ٥-٣٠ مايكرو غرام Se/غرام مادة جافة بعكس الأنواع المجمعة للسلينيوم، بينما في الأنواع التي لا تجمع السلينيوم فان النمو ينخفض. وهذا موضح لنوعين من Astragalus التي نمت في وسط رملي مع وبدونSe.

سمية السلينيوم تعود إلى اشتراك Se-cysteine في البروتينات في Se-cysteine فان Se يقف من اجل (stand for) S في جزيئة الـ cysteine. أنواع النباتات المقاومة للسلينيوم تجمع Se على شكل Se-methyl cystein الذائب غير السام بعكس Se-methionine الذي يوجد في النباتات غير المجمعة للسلينيوم. إن الاختلافات بين أنواع النباتات من حيث مقدرتها على تجميع ومقاومة السلينيوم غير واضحة المعالم إلى وقتنا هذا. لقد اقترح بأنه في النباتات التي لا تجمع السلينيوم يوجد السلينيوم في البروتينات. بينما النباتات التي لها المقدرة على تجميع السلينيوم تقوم بتمثيل السلينيوم الموجود في الأحماض الأمينية غير البروتينية وبهذا فأنها تقوم بمنع السمية.

باستعمال السلينيوم المشع بأن هناك نسبة ملحوظة من المادة المشعة في البروتينات العائدة إلى النباتات القادرة على تجميع السلينيوم مثل Astragalus bisuicatus. واقترح هذان الباحثان بان الاختلاف في سمية السلينيوم للنباتات من الصعب توضيحه بالاعتماد على الاختلاف الحاصل في تداخل البروتينات والسلينيوم.

إن تأثير السلينيوم في تغذية الحيوان مهم جداً، إذ أن السلينيوم عنصر ضروري للحيوان ويحتاجه الحيوان بتراكيز واطئة. إن نقص السلينيوم في الحيوان يؤدي إلى حصول إعاقة وخلل في نمو العضلات وهذه الحالة تسمى White Muscle Disease وكذلك يؤدي نقص السلينيوم إلى فقدان الشعر والفراء للحيوانات. في البكتريا والحيوانات Se-cysteine هو حامض أميني ضروري وله أنواع خاصة ذات t-RNA، والتي تميز UGA codon من mRNA. ولهذا وبوساطة ribosome فان Se-Cysteine تشترك في البيتيدات المتحددة الضرورية في تكوين بعض الأنزيمات مثل Hydrogenases في بكتريا مختلفة و Glutathione Peroxidase في الثديات. هذا الأنزيم يحلل H_2O_2. لذا فان التفاعل يكون مهماً بان مجموعة She يزال منها البروتون وبما أن pK للمجموعة She هي أوطئ مما هو عليه في مجموعة SH فان الأولى تكون أكثر كفاءة في إزالة سمية HeO_2 ولذا فان Se أيضا ضروري للإنسان. لقد تعامل مع مشكلة Se في التربة والنبات وأهميته في تغذية الحيوان وتغذية الإنسان في بحث لمراجعة مصادر مهمة. إن سوء التغذية بالسلينيوم في الإنسان منتشرة اكثر مما هي مفترضة بوصف عام.



ان من الأفضل المحافظة على مستويات السلينيوم في غذاء الحيوان والمحاصيل العلفية بين ٠.١ إلى ١ مايكرو غرام/غرام. وكذلك اجرى هذا الباحث مسحاً في الولايات المتحدة الأميركية ووجد بان ثلث النباتات العلفية ومحاصيل الحبوب كان محتواها من السلينيوم اقل من المستوى الذي ذكر. وجود السلينيوم بتراكيز اعلى من ٥ مايكرو غرام/غرام في العليقة الحيوانية يؤدي إلى حصول تسمم الحيوان بالسلينيوم وهذه الحالة تعرف بال (Alkali Disease) في حقول الحيوانات وتحصل في الترب القلوية الغنية بالسلينيوم. سمية السلينيوم لقد وجدت منذ ١٨٥٦ في العديد من المناطق غرب أميركا ولاسيما في السهول العظمى. مراجعة مصادر مهمة ومفيدة حول السلينيوم في الزراعة والبيئة التي تتطرق إلى Se في الترب والمحاصيل وسميته للحيوانات وتأثيره في البيئة.

أهم الأغذية التي تحتوي عنصر السيلينيوم Se (Selenium)

النباتية: بروكلي، النخالة، الرز الأسمر، الملفوف، الثوم، الفطر، الشوفان، البصل

الحيوانية: الدجاج، كلى الحيوانات، الكبد، الحليب، التونة

الرصاص

الرصاص من أهم العناصر التي تلوث الهواء الجوي وهو سام جداً للإنسان إذ يتجمع في جسم الإنسان بمستويات تقرب مستويات المواد الكيمياوية الطبية السامة.

إن المصدر الرئيس لتلوث الهواء بالرصاص هو احتراق البترول وان هذا المصدر يشارك بـ ٨٠٪ من الرصاص الكلي الموجود في الهواء الجوي. الرصاص يضاف إلى البترول على شكل tetra ethyl lead ويخرج على شكل مركبات رصاص غير عضوية مع الغازات والدخان وما يقرب من ٥٠٪ من هذه المركبات غير العضوية للرصاص تسقط على بعد ١٠٠ متر من محل استعمال البترول والباقي ينتشر ويتوزع في المحيط الجوي.

وجد زيادة مضطردة في محتوى الجليد من الرصاص على مدى ثلاثين سنة في النماذج المأخوذة من North Green land Icecap. هذه الزيادة بالمحتوى من الرصاص تعود إلى استخدامات البترول المتزايدة. المناطق الصناعية تكون ملوثة بالرصاص المحروق جواً. في مانشستر احد المدن الصناعية الكبيرة في إنكلترا وجد فيها ما يقرب من ١٠٠٠ مايكرو غرام/غرام من الرصاص في غبار الشوارع. إن معدل مستويات الرصاص في الأتربة يقرب من ١٥ مايكرو غرام/غرام. إن مستويات الرصاص في دم الإنسان وجد بأنها تزداد في المناطق القريبة من محطات النقل بالعربات. إن تسمم الإنسان بالرصاص يحصل أيضا عن طريق تلوث الماء بالرصاص وذلك عن طريق أنابيب نقل المياه الحاوية على الرصاص، وهذه الأنابيب هي أيضا مصدر مهم للتلوث بالرصاص.

الرصاص سام وذلك لأنه يشبه الكالسيوم في عملياته الحيوية مما يؤدي إلى الحلول محله وإحداث السمية وكذلك يعمل الرصاص على إيقاف عدة أنظمة أنزيمية. إن من أهم النقاط التي تحدثها سمية الرصاص في الإنسان هي تلف الدماغ ولاسيما في الأعمار الصغيرة. هناك بعض الأدلة على أن التلوث بالرصاص يسبب في تكون الطبع الحاد في الحيوانات. لقد اعتقد بأن هذا الطبع الحاد يحصل أيضا في الإنسان نتيجة التلوث

بالرصاص إذ وجد زيادة في معدل الجرائم بين سكان المناطق الصناعية. من حيث تغذية النبات يجب أن يبقى في الذاكرة بأن التلوث بالرصاص مصدره من مصادر الاحتراق الجوي للبترول.

إن المحتوى الكلي للأتربة الزراعية من الرصاص يقع بين ٢ إلى ٢٠٠ مايكرو غرام/غرام تربة. الترب الزراعية في فرنسا ذات معدل من تركيز الرصاص هو ٣٠ مايكرو غرام/غرام تربة وبمستوى أدنى هو ٧.٥ مايكرو غرام/غرام تربة ومستوى أقصى هو ١٥٦٠ مايكرو غرام/غرام تربة. القيمة الأخيرة هي تركيز عالي استثنائي يحصل في الترب الغنية بالطين في منطقة Sinemurien قرب Morvan في Burgundy.

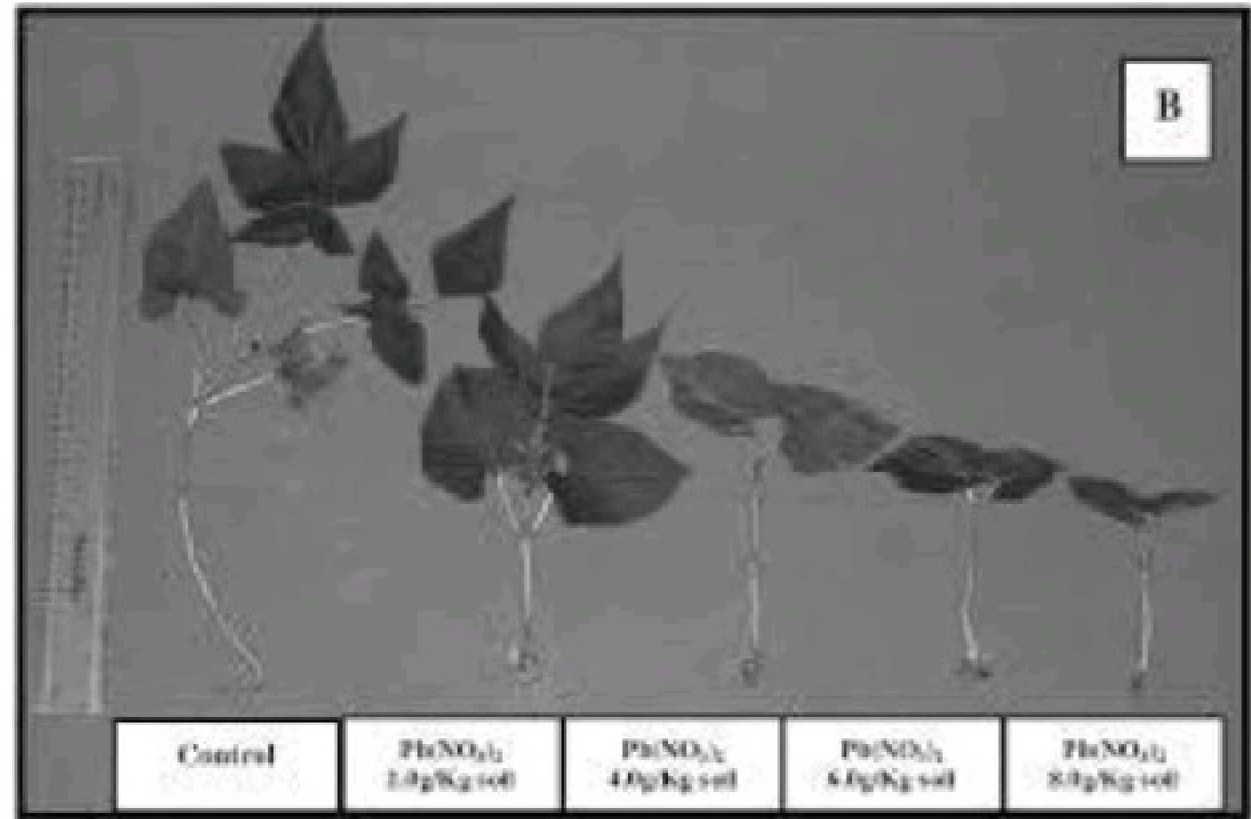
إن الأتربة التي تحتوي على هذه المستويات تكون محصورة في المناطق التي يوجد فيها ترسبات معدنية حاوية على الرصاص وفي مثل هذه الأتربة يكون محتوى الأفاق العليا من الرصاص اكثر من ٣٠٠٠ مايكرو غرام/غرام تربة. التأثير السام للرصاص يسبب في النقص بنمو النبات وهذا التأثير السام للرصاص لا يوجد بصورة واسعة في الحقول الزراعية بل يكثر هذا التأثير السام عند القيام بتجارب الوسط المائي.

زرع بادرات لأشجار صنوبرية (spruce) راتنجية في محلول مغذي ووجدوا في المعادلة الحاوية على Pb نمو الجذور قد انخفض بشدة حتى مع التراكيز الواطئة. الرصاص قد وجد بشكل رئيس في جذر الخلية وفي شبكة (Hartig net) المايكورايزا ولكن قد وجد أيضا في الترسبات الفجوية في عينات الجذور التي أخذت من ترب الغابة.

لقد أجرى دراسة على الطريق الخارجي المسمى بـ Santa Ana في جنوب كاليفورنيا وعد السيارات والعربات التي تمر باليوم الواحد وهي ٧٠٠٠٠ عربة. لقد قام هؤلاء الباحثون بتحليل محتوى ٢٧ نوعية من المحاصيل من الرصاص من على أبعاد مختلفة على الطريق الخارجي ووجدوا بان التلوث بالرصاص يعتمد على عوامل عديدة منها بعد المسافة عن الطريق الخارجي وطبيعة سطوح النباتات ومدد التلوث وكثافة المرور واتجاه الرياح وأكد ذلك عدة باحثين إذ وجدوا بان التلوث بالرصاص يوجد في مناطق النقل والمرور للسيارات. الغطاء النباتي على جانبي الطريق لمرور وسائط النقل قد يحتوي على ٥٠ مايكرو غرام Pb/غرام مادة جافة ومن على بعد ١٥٠ متر على طريق المرور مع العلم بان محتوى هذه النباتات في الحالات الطبيعية يكون ٢ أو ٣ مايكرو غرام/غرام. التلوث بالرصاص يحصل فقط على الأجزاء الخارجية للبذور أو الأوراق أو السيقان ولذا فان جزءاً كبيراً من الرصاص يمكن أن يزال بعملية الغسيل. مستويات الرصاص في الحبوب والدرنات والجذور قد تأثرت بدرجة واطئة بالتلوث بالرصاص وكان اختلاف محتواها من الرصاص عن المحتوى

الطبيعي هو ٠.٥ جزء بالمليون. مشاهدات مشابهة قد وجدت في تجارب حقلية التي فيها الترب قد أصبحت غنية بالرصاص نتيجة الإضافة لفضلات المدينة (sludge) لمدة زمنية طويلة. هذا صحيح إذا جهز Pb بصورته المعدنية مثل Pb^{2+}. الرصاص العضوي مثل Pb tetraethyl، Pbtriethyl و Pbdiethyl وكذلك مشتقات أخرى من alkyl للرصاص تكون حركة بدرجة عالية في التربة وإنها تمتصها من النبات أسرع من Pb^{2+} مثل هذه الأشكال العضوية للرصاص قد تتحرر مع الدخان الناتج عن حرق النفط في حالة كون الاحتراق غير كامل.

إن التراكيز ١٠٠ مايكرو غرام/ Pb/غرام تربة كرصاص عضوي ينتج عنه انخفاض كبير في النمو. هؤلاء الباحثون الذي يزرعون الحنطة الربيعية في تجارب سنادين في ت ربة اعتيادية، قد وجدوا بان Pb المجهز بصورته العضوية قد انتقل إلى الحبوب بكميات كبيرة نسبياً. وبهذا مستويات Pb بما يقرب من ٢٠ مايكرو غرام/غرام مادة جافة قد وجدت في الحبوب. هذا المستوى هو بالمدى الذي يرتبط بالانخفاض القاسي للنمو في أنواع أخرى. لقد وجد بأن الرصاص العضوي trialkyl Pb الذي هو عامل قوي في إحداث التغيرات الوراثية ولقد عرف بانه يعوق عمل ميكانيكية الحزمة الليفية في انقسام الخلايا في كل من النبات والحيوان.



في نباتات الذرة الصفراء، وجد بان Pb أولاً تتركز في أوعية dictyosome التي تندمج مع بعضها البعض لتغطية (er case) ترسبات Pb. وهذه بعد ذلك تزال من السيتوبلازم إلى خارج غشاء البلازما لما لتندمج (fuse) مع جدار الخلية إذ يمكن أن يتجمع كميات كبيرة من Pb. إن تلوث الأتربة بالشكل المعدني للرصاص يكون محصوراً بالطبقة السطحية من مقد التربة (بضع سنتمترات العليا). الاحتفاظ بالرصاص بالجزء العلوي من مقد التربة يعود إلى الفئة العالية للمادة العضوية وبذلك يتكون مواد مخلبية من المادة العضوية والرصاص غير القابلة للذوبان. إن جاهزية الرصاص في التربة واطئة وتقل هذه الجاهزية أكثر بإضافة الجير. الرقم الهيدروجيني العالي للتربة قد يؤدي إلى ترسيب الرصاص على شكل هيدروكسيد أو

فوسفات أو كربونات وكذلك قد يؤدي الارتفاع بالرقم الهيدروجيني إلى تكون معقدات من المادة العضوية والرصاص.

في الحيوانات السمية للرصاص تتدخل بالعمليات الحيوية للحديد وكوين الهيم. الرصاص يوقف عمل خطوتين أساسيتين في تحول deltan aminolaevulic acid إلى الهيم. الرصاص يوقف عمل الأنزيم Al.A dehydrase في تحول delta- aminolaevulic acid (ALA) إلى (PBG) Prophobillinogen ويعمل الرصاص أيضا على منع تكون الهيم من Coproporphyrinogen III ولذا فهناك زيادة كبيرة في مستويات ALA و Coproporphyrin III (الناتج من أكسدة Coproporphyrinogen III) في دم مرضى التسمم بالرصاص وغائطهم ليس معروفاً فيما إذا كان للرصاص التأثير نفسه في تكون الهيم في خلايا النبات.

الكادميوم

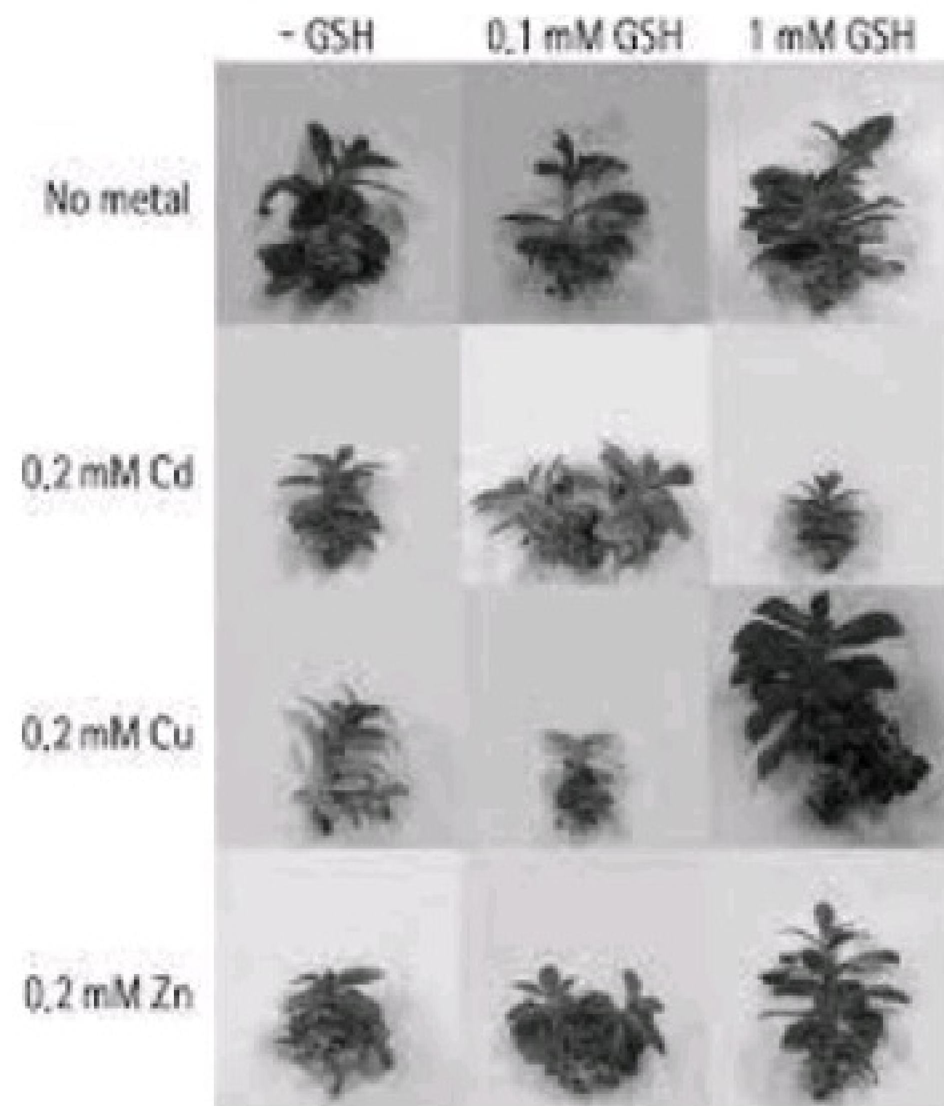
هناك توجه كبير في دراسة الكادميوم وعلاقته بتغذية النبات وذلك للتشابه الموجود من الناحية الكيمياوية بين الكادميوم والخارصين. ولذا فان الكادميوم (Cd) قادر على محاكاة سلوك الخارصين من حيث الامتصاص والوظائف الحيوية. ولكنه يختلف عن الخارصين لكونه سأما لكل من الحيوان والنبات. السبب الأساس في سمية الكادميوم قد يعود إلى صلى الانجذاب القوية له مع thiolgroupings (SH) في الأنزيمات وبعض البروتينات ولذا فان وجوده يعوق من النشاط الأنزيمية. في النباتات الكميات الكبيرة من Cd قد أيضا يعوق العمليات الأيضية للحديد ويؤدي إلى ظهور الاصفرار. في تغذية الحيوان يكون الكادميوم سماً متراكماً إذ يخزن بصورة رئيسة في الكلي وبدرجة اقل في الكبد والطحال أيضا. وجود الكادميوم بكميات فائضة يؤدي إلى تلف أنابيب الكلي والأغشية المخاطبة (Rhinitis). وكذلك يعمل على انتفاخ الرئة (Emphysema) وهو مرض مزمن في الرئتين إذ تصبح فيه الحجيرات الهوائية (Alveoli) منتفخة بصورة غير طبيعية، وكذلك يعمل الكادميوم على حصول اضطراب مزمن في بعض العمليات الحيوية. وبصورة مخالفه للرصاص فان الكادميوم لا يسبب في حصول اضطراب في الجهاز العصبي.

إن التسمم المزمن الناتج عن الكادميوم الذي لوحظ في مدينة Toyama في اليابان يعرف بمرض Itai-Ital. الزيادة المفرطة للكادميوم في الغذاء قد وجد بأنها تعرقل عمل الكلية وكذلك تعرقل عمليات البناء التي يدخل فيها كل من الكالسيوم والفسفور ويؤدي ذلك إلى حدوث مرض في العظام. المرض المؤلم الذي يسبب في Demineralization وعدم صلابة الهيكل العظمي قد لوحظ ولاسيما في النساء متوسطات الأعمار اللواتي استنزف الكالسيوم المخزون عندهن بوساطة الحمل المتكرر. السبب الذي يعود إليه هذا المرض يعود إلى الرز المستعمل في وجبات الغذاء والذي زرع أصلاً في أراضي الرز المتلوثة بالكادميوم الذي مصدره المناجم القريبة.

إن تركيز الكادميوم في الترب غير الملوثة بوصف عام هو اقل من ١ مايكرو غرام/غرام تربة، إن متوسط تركيز ٤٦٠ تربة زراعية من فرنسا كان ٠.٢٢ ملغرام Cd/كغم ترب، ويختلف بين ٠.٠٠٨-٠.٧٥ ملغرام Cd/كغم. بوصف عام تركيز Cd في الترب يزداد بزيادة تركيزها من الطين، إن العناصر الثقيلة لا تتوزع بشكل متساو في الترب وإنها ترتبط بشكل رئيس مع المادة العضوية، الكربونات وأكاسيد الحديد والمنغنيز ولكن من الصعوبة تواجده في الطبقات البينية للمعادن phyllosilicates 2:1 جاهزية Ni, Zn, Cd للنبات تعكس بصورة جيد بوساطة استخلاص التربة بالمحاليل المتعادلة مثل نترات الأمونيوم اكثر مما هو عليه بوساطة الأحماض القوية أو المواد المخلبية. بوصف عام تراكيز Cr, Ni, Zn, Cd هي اعلى في الجذور مقارنة بالأجزاء العليا من النبات. والحالة معكوسة مع Zn و Cd موضحة بأن Cd, Zn تنتقل بسهولة من الجذور إلى الأجزاء العليا. امتزاز طور التربة الصلب للكادميوم يزداد أسيا (exponentially) بزيادة درجة تفاعل التربة. الترب الرملية الحامضية بصورة خاصة تظهر إمكانية حصول خطر غسل Cd إلى الطبقات العميقة من التربة ومنها إلى الماء الأرضي. في مراجعة مصادر مهمة ومفيدة حول ذوبانية العناصر الثقيلة في الترب، بان إلفه Cd^{2+} لهيدروكسيدات Fe, Al غير البلورية والمجاميع silanol للسليكا هي واطئة مقارنة بالعناصر الثقيلة الأخرى (Pb, Cu, Zn, Ni). درست جاهزية المعادن الثقيلة في الترب باستعمال تقنية الاستخلاص المتعاقب (Sequential extraction technique). لقد ظهر بعد ١٥ سنة من إضافة مواد صلبة (فضلات مدينة، filter cake، ورواسب عضوية) بان الجاهزية الحيوية (bioavailability) النسبية للعناصر الثقيلة تتبع التدرج الآتي: Cd>Zn>Ni>Cu>>Cr>Pb. أن إضافة طين القناة المترسب للترب الرملية جعلها غنية بـ Zn, Cd وان جاهزيتها الحيوية قد ازدادت بالري بالماء المالح. ذوبانية Cd و Zn في الترب قد تزداد

بوساطة إفرازات الجذور. ليس هناك الكثير معروف حول ميكانيكية امتصاص Cd^{2+} من قبل النباتات. ويفترض بأنها ميكانيكية انتشار ميسر (facililitated diffufio) عبر غشاء البلازما لها. اقترحت بان Cd^{2+} مثل Zn^{2+}, Ca^{2+} ينتقل عبر غشاء الفجوة بوساطة النقل البروتوني (proton antiport). تجمع Cd في الفجوة يعود إلى مقاومة الأنواع النباتية للكادميوم. ان معدلات الامتصاص تعتمد على تراكيز Cd في الوسط الغذائي. وجد في دراسات حقلية التي فيها ضايقت مخلفات المدينة الملوثة بالعناصر الثقيلة لعدة سنوات. أن تركيز Cd في كتلة الذرة الصفراء ازداد بزيادة التركيز الكلي للكادميوم في التربة. المنحنى يتماشى مع منحنيات (متشرلش) بالرغم من النقاط كانت مبعثرة موضحة بأنه هناك عوامل أخرى مثل تركيز Cd في التربة يؤثر في تركيز Cd في المحصول.

الكادميوم يمكن أن ينتقل بسرعة من التربة بوساطة جذور النبات إلى أجزاء النبات العليا. جاهزية تعتمد بدرجة كبيرة على درجة تفاعل التربة وعلى وجود أنواع الكاتيونات الأخرى، الكالسيوم والخارصين بصورة خاصة تثبط امتصاص الكادميوم. ان امتصاص الكادميوم من قبل بادرات نبات الرز هي مقاربة لمعدلات امتصاص الخارصين إذا كان تركيز كلا العنصرين اقل من ١.٠ ملمول/م٣. وعند التراكيز الأعلى يكون امتصاص الخارصين ضعف كمية الكادميوم عندما يتواجد كلا العنصرين بالتركيز نفسه في المحلول المغذي. انتقال الكادميوم من الأوراق إلى البذور واطئ بسبب أن Cd^{2+} هو يشابه Ca^{2+} كونه غير متحرك في اللحاء، ولهذا السبب فان تراكيز Cd لحبوب محاصيل الحبوب من الترب الملوثة بدرجة كبيرة تزيد فقط ١ مايكرو غرام/غرام. هناك العديد من الأدلة التي توضح اختلاف أنواع المحاصيل والسلالات بدرجة كبيرة في امتصاص الكادميوم، وبذلك تعرض وسائل للاحتفاظ بالكادميوم بمستوى واطئ في نواتج النبات في بعض أنواع النباتات مثل الخس والكرافس معدل امتصاص الكادميوم هو بصورة خاصة عال ويصل إلى المستوى الذي لا يقاوم.



المصدر الرئيس لتلوث الجو بالكادميوم هو صهر المعادن. صهر معدن الخارصين اكثر تلوثاً للجو حيث نسبة Cd:Zn في خامات معدن الخارصين اعتيادياً تكون ١.٣٥٠. فضلاً عن ذلك فان الأتربة الموجودة في محاذاة

طرق المرور تكون ملوثة بالكادميوم ومصدر التلوث هو الإطارات والدهون المحترقة للسيارات.

الكادميوم في التربة يكون مصدره إضافة فضلات المدينة (Sewage sludges). إعادة إضافة الفضلات العضوية هذه قد تؤدي إلى أن تكون تراكيز Cd في التربة تزيد على المستوى الحرج الذي هو ٣ ملغرام Cd/كغم تربة في المناطق السكنية. تركيز Cd في الفضلات للمناطق الصناعية يصل إلى ٣٧ ملغرام/كغم، بينما تركيزه في فضلات المناطق السكنية هو فقط ٨ ملغرام/كغم. هؤلاء الباحثون فحصوا كلا النوعين من الفضلات في تجارب حقلية. في تجربة لمدة سبع سنوات قد زرع إثناءها نبات الشعير في قطعة التربة التي أضيفت إليها فضلات المناطق الصناعية أدى ذلك إلى حصول زيادة كبيرة في Cd في الحبوب وإلى تركيز يصل إلى ٠.٦ مايكرو غرام/غرام، والعكس هو أن في الحبوب لقطعة التربة التي أضيفت إليها فضلات المدينة السكنية كان تركيز الكادميوم فيها قد ازداد قليلاً والقيمة النهائية للتركيز هي ٠.١ مايكرو غرام Cd/غرام. المشكلة من الإضافة لفضلات المدينة لمدة طويلة وتأثيرها في امتصاص العناصر الثقيلة من قبل المحاصيل. الكادميوم أيضا يضاف إلى التربة بكمية قليلة مع الأسمدة الفوسفاتية.

زيادة معدل إضافة الأسمدة الفوسفاتية يؤدي إلى زيادة محتوى حبوب الحنطة الشتوية من الكادميوم وكذلك في حبوب نبات الذرة الصفراء. امتصاص وذوبانية فوسفات الكادميوم تقل وفق التدرج الآتي:



$$Cd\ (H_2PO_4)_2 > Cd\ HPO_4 > Cd_3(PO_4)_2$$

محتوى الصخور الفوسفاتية من الكادميوم يختلف باختلاف المصدر

إن إزالة التلوث للترب باستخلاص العناصر الثقيلة بوساطة النباتات وإعادة الزراعة فانه من الصعوبة وجود فرصة لأي نجاح حتى ع Cd الذي يمتص نسبياً بمعدلات عالية، بحدود ٢٠٠ سنة يحتاج إليها لخفض محتوى التربة من ١ إلى ٣ ملغم Cd/كغم تربة. إزالة السمية هذه بوساطة امتصاص النبات للملوثات العضوية وغير العضوية تسمى بالـ phytoremediation. إن خطر الكادميوم هو أن النبات لا تعمل بوصفها مؤشراً السامة للحيوانات والإنسان مادام أن النباتات تقاوم مستويات أعلى من الكادميوم مما هو عليه عند الحيوانات.

وهذا صحيح أيضا مع Hg و Ti كما يلاحظ من الجدول (٤٥) بالرغم من أن هذين العنصرين. ذات تأثير قليل من الناحية التطبيقية وبهذا النباتات يمكن أن تظهر بأنها سليمة بالرغم من محتواها العالي من هذه العناصر وهذا المحتوى العالي غير مرغوب من قبل الإنسان والحيوان. وهذه العناصر هي (Cd, Hg, TI).

إن امتصاص TI قد يختلف بين أنواع النبات بصورة ملحوظة امتصاص TI للعنب كان ٤٠ ضعفاً أكبر من مما هو عليه في الحشائش والسبانخ. وان امتصاص العناصر الثقيلة يعتمد على ظروف التربة، وبوصف عام الجاهزية تقل بزيادة درجة تفاعل التربة وكذلك بزيادة محتوى التربة من الطين والدبال، ولهذا السبب فمن الصعب وضع الحدود الحرجة لهذه العناصر في التربة. وبالرغم من ذلك فقد وجدت بعض الحدود في ألمانيا كما موضح في الجدول (٤٦).

الجدول ٤٥ : التراكيز الحرجة لمختلف العناصر الثقيلة في غذاء الحيوانات المستوى العالي هو السام

العنصر	النباتات	الحيوانات
	مايكرو غرام/غرام مادة جافة	
Cd	١٠-٥	١-٠.٥
Hg	٥-٢	١
Ti	٣٠-٢٠	٥
CO	٢٠-١٠	٥٠-١٠
Cr	٢-١	٣٠٠٠-٥٠
Cu	٢٠-١٥	١٠٠-٣٠
Ni	٣٠-٢٠	٦٠-٥٠
Pb	٢٠-١٠	٣٠-١٠
Zn	٢٠٠-١٥٠	٥٠٠

الجدول ٤٦ : محتوى التربة الحرج من العناصر الثقيلة (مايكرو غرام/غرام تربة جافة هوائياً

Pb	١٠٠	Ni	٥٠
Cd	٣	Hg	٢
Cr	١٠٠	Zn	٣٠٠
Cu	١٠٠		



الجدول الدوري المُصوَّر للعناصر

الفلزات الانتقالية

العناصر فائقة الثقل

الفلزات الأرضية النادرة

فلزات الأكتينيدات

الدروس العملية

الدرس العملي الأول

إرشادات العمل المختبري

افعل ولا تفعل

١. ارتداء صدرية المختبر للمحافظة على الملابس من التلف بالمواد والصبغات الكيميائية.

٢. تجنب العمل وحيدا في المختبر.

٣. لا تحاول تذوق أو شم أي ماده داخل المختبر فانت تتعامل مع مواد كيميائية قد تكون خطيره.

٤. لا تستخدم الماصة الزجاجية الاعتيادية (بالفم) في سحب الأحماض والقواعد المركزة بل استخدم الأسطوانة المدرجة (السلندر) أو استخدم بالونه المص المطاطية (suction bulb)

٥. لا تتعامل مع الأحماض والقواعد المركزة والمواد الكيميائية الخطرة إلا في غرفة سحب الغازات (fume hood).

٦. عند تخفيف الأحماض المركزة، اضف الحامض المركز إلى الماء وليس العكس.

٧. عند سقوط حامض مركز على يدك اغسل يدك بمحلول بيكربونات الصوديوم ثم بالماء وفي حالة القواعد المركزة اغسل يدك بحامض الخليك المخفف ثم بالماء.

٨. كن حريصا على سلامتك وسلامة الأجهزة المختبرية من خلال عدم تشغيل أي جهاز إلا بعلم مسؤول المختبر واتباع إجراءات السلامة.

٩. لا تحاول فتح باب المحرقة (muffle furnace) بعد اكتمال عملية الحرق الجاف للعينه النباتية، ولكن اطفى الجهاز وانتظر بعدها افتح باب المحرقة وبشكل تدريجي (على مراحل).

١٠. لا تفتح غطاء جهاز الطرد المركزي إلا بعد أن يتوقف الجهاز تماما.

١١. استعمل القفازات الحرارية والكلاليب لإخراج المواد من المحرقة.

١٢. احرص على عدم تلوث المواد الكيميائية بعضها ببعض أثناء استخدامك لها وذلك من خلال وضع سدادة قنينه على قنينه أخرى أوضع ماصه في محلول معين ثم وضعها في محلول آخر، أو وضع المواد الزجاجية المستخدمة على طاولة العمل (البنج)، كما يجب عدم ترك قناني المواد الكيميائية مفتوحه لضمان عدم تغير تركيزها.

١٣. عند تفريغ محلول من قنينة مواد كيميائية، لا تحمل سدادة القنينة بين أصابعك ولا تضعها على الطاولة (البنج) بل ضعها في زجاجة ساعه نظيفة.

١٤. لا تحاول إرجاع محاليل المواد الكيميائية المتبقية بعد الانتهاء من العمل إلى القناني التي سحبت منها وذلك منعا لحصول أي خطأ.

١٥. كن دقيقا في وزن المواد الكيميائية ولا تنقل المواد الموزونة المراد أذابتها إلى الدورق المعياري مباشرة بل انقل المواد إلى بيكر وقم بإذابتها ثم انقلها بعد اكتمال ذوبانها نقلا كميا إلى الدورق الحجمي.

١٦. لا تحاول وزن المواد الكيميائية بعد إخراجها من الفرن مباشرة بل ضعها في مجفف(desiccator) لمدة نصف ساعه على الأقل قبل وزنها.

١٧. عند استخدام الماصة اغسلها بالماء العادي ثم بالماء المقطر وأخيرا اغسلها بقليل من المحلول المراد استخدامه وعند إفراغها من المحلول لا تحاول نفخ أو هز الماصة.

١٨. عند التسحيح، في المحاليل الشفافة تسجل قراءة السحاحة بحيث يكون تقعر المحلول على الإشارة أما في المحاليل الملونة فيكون التقعر اسفل الإشارة.

١٩. احرص يكون هناك مكررين على الأقل وعينة مقارنه (blank) لكل عينه يراد تحليلها في المختبر.

٢٠. عند سكب المواد الكيميائية والفضلات السائلة في حوض الماء، اسكبها بحذر مع فتح حنفية الماء لتخفيف هذه المحاليل وتقليل الضرر الناتج عنها.

٢١. احرص على نظافة المختبر والمواد الزجاجية المستخدمة بعد الانتهاء مباشرة من العمل.

غسل وتنظيف المواد الزجاجية المختبرية

من اجل الحصول على نتائج تحليل دقيقه للعينات النباتية، ينبغي ان تكون المواد الزجاجية المستخدمة على درجه عالية من النظافة خصوصا وإننا نتعامل مع عناصر غذائية ذات تراكيز واطئة جدا تصل إلى أجزاء قليله من المليون كما هو الحال في العناصر الصغرى. تغمر المواد الزجاجية قبل استخدامها بالماء العادي ثم تغسل بأحد محاليل التنظيف التالية ويعاد غسلها بالماء العادي ثم بالماء المقطر:

١. مخلوط حامضي الهيدروكلوريك والنتريك المركزين بنسبة 3 :1 (يمكن استخدام أحماض تجاريه).

٢. محلول برمنغنات البوتاسيوم + هيدروكسيد الصوديوم: 5 غم من $KMnO_4$ تذاب في 100 مل من محلول $NaOH$ 10% الساخن.

٣. محلول كرومات البوتاسيوم: 10غم من $K_2Cr_2O_7$ يذاب في 100مل ماء ساخن + 100 مل حامض H_2SO_4 المركز.

التعبير عن التراكيز

1 – التعبير عن التركيز في المحاليل:

أ – النسبة المئوية:

النسبة المئوية الحجمية: وهي حجم المحلول (مل) من السائل المذاب في 100 مل من المحلول النهائي.

حجم المذاب (مل)

% V\V = ---------------- × 100

حجم المحلول (مل)

النسبة المئوية الوزنية: وهي وزن المذاب (غم) في 100غم من المادة المذيبة أو 100 مل من المذيب (المذيب هو الماء)

وزن المذاب (غم)

% W\W = ---------------- × 100

وزن المذيب (غم)

مثلا عند إذابة 1 غم من أي ماده في 100 مل من الماء التركيز هو 1 %

وعند إذابة 5 غم في 100 مل يكون التركيز 5 %

مثال: يراد تحضير لتر من محلول 5 %.

5 غم من المادة في 100 مل من الماء يكون التركيز 5 % أما في لتر

5 × 10 = 50 غم من المادة تذوب في لتر من الماء المقطر.

ب– المولاريه: هي عدد الأوزان الجزيئية الغرامية (عدد المولات) من المذاب في لتر واحد من المحلول.

عدد مولات المذاب

المولاريه (M) = ------------------

حجم المحلول (لتر)

$$\text{عدد المولات} = \frac{\text{وزن المادة المذابة}}{\text{وزنها الجزيئي}}$$

$$\text{المولاريه } (M) = \frac{\text{وزن المادة}}{\text{وزنها الجزيئي}} \times \frac{1000}{\text{حجم المحلول (مل)}}$$

الوزن الجزيئي = مجموع الأوزان الذرية

لا يجاد مولارية حامض مركز:

$$\text{المولاريه} = \frac{\text{الوزن النوعي} \times \text{النسبة المئوية} \times 10}{\text{الوزن الجزيئي}}$$

مثلا لتحضير 1 مولار من NaCl

الوزن الجزيئي لـ NaCl = 35.5 + 23 = 58.5

يذوب 58.5 غم من NaCl في دورق حجمي لتر ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر

ولتحضير 4 مولار من الملح السابق: 58.5 × 4 = 234 غم يذوب في دورق حجم لتر ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر.

مثال: حضر 250 مل من محلول (0.1) مولاري من $MgCl_2.6H_2O$ علما ان الأوزان الذرية:

Mg: 24 Cl: 35.5 H: 1 O: 16.

الوزن الجزيئي للمركب = مجموع الأوزان الذرية = 203

$$\text{المولاريه } (M) = \frac{\text{وزن المادة}}{\text{وزنها الجزيئي}} \times \frac{1000}{\text{حجم المحلول (مل)}}$$

$$0.1 = \frac{\text{س}}{203} \times \frac{1000}{250}$$

س = 5.075 غم يوزن من الملح ويوضع في دورق حجمي 250 ويكمل إلى العلامة بالماء

ج -العياريه (N): هي عدد الأوزان المكافئة الغرامية من المذاب في لتر من المحلول.

$$\text{العياريه (N)} = \frac{\text{عدد الأوزان المكافئة الغرامية للمذاب}}{\text{حجم المحلول (لتر)}}$$

$$\text{عدد الأوزان المكافئة الغرامية} = \frac{\text{وزن المذاب}}{\text{الوزن المكافئ الغرامي}}$$

$$\text{العياريه (N)} = \frac{\text{وزن المادة}}{\text{وزنها المكافئ}} \times \frac{1000}{\text{حجم المحلول (مل)}}$$

$$\text{الوزن المكافئ} = \frac{\text{الوزن الجزيئي}}{\text{التكافؤ}}$$

مثال: عند تقدير النتروجين في النبات نحتاج لتحضير (10 N) من $NaOH$:

الوزن الجزيئي للملح هو 40

$$\text{الوزن المكافئ} = \frac{\text{الوزن الجزيئي}}{\text{التكافؤ}} = \frac{40}{1} = 40$$

40 × 10 = 400 غم يذوب من NaOH ويوضع في دورق حجمي لتر ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر.

مثال: حضر 250 مل من محلول 1.0 عياري من $MgCl_2.6H_2O$، علما ان الأوزان الذرية: O: 16 H: 1 Cl: 35.5 Mg: 24.

الوزن الجزيئي للمركب = مجموع الأوزان الذرية = 203

$$\text{الوزن المكافئ} = \frac{\text{الوزن الجزيئي}}{\text{التكافؤ}} = \frac{203}{2} = 101.5$$

$$\text{العياريه } (N) = \frac{\text{وزن المادة}}{\text{وزنها المكافئ}} \times \frac{1000}{\text{حجم المحلول (مل)}}$$

$$0.1 = \frac{\text{س}}{101.5} \times \frac{1000}{250}$$

س = 2.537 غم يذوب من الملح ويوضع في دورق حجمي 250 مل ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر.

غم/ لتر = العياريه × الوزن المكافئ

ملغم/ لتر = العياريه × الوزن المكافئ × 1000

لإيجاد عيارية حامض مركز:

$$\text{العياريه} = \frac{\text{الوزن النوعي} \times \text{النسبة المئوية} \times 10}{\text{الوزن المكافئ}}$$

مثال: حضر نصف لتر من حامض الكبريتيك تركيز (0.25)عياري، اذا كان لديك قنينة حامض مركز عليها المعلومات التالية:

الوزن النوعي: 1.82 غم/لتر النسبة المئوية: 96 %

الأوزان الذرية: O: 16 S:32 H: 1

الحل: نجد عيارية الحامض المركز أولا ثم نطبق قانون التخفيف

$$\text{الوزن المكافئ للحامض} = \frac{\text{الوزن الجزيئي}}{\text{التكافؤ}} = \frac{98}{2} = 49$$

$$\text{العياريه} = \frac{\text{الوزن النوعي} \times \text{النسبة المئوية} \times 10}{\text{الوزن المكافئ}}$$

$$\text{العياريه} = \frac{10 \times 96 \times 1.82}{49} = 35.65$$

35.65 عيارية الحامض المركز بالقنينة

نطبق قانون التخفيف: $N_1 \times V_1 = N_2 \times V_2$

مركز مخفف

$$35.65 \times V_1 = 0.25 \times 500$$

V_1 = 3. 50 مل يسحب من الحامض المركز ويوضع في دورق حجم نصف لتر ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر.

تركيز المحلول بالملي مكافئ/ لتر: هو عباره عن عدد المليمكافئات من المادة المذابة في لتر من المحلول.

الوزن المكافئ

الملي مكافئ = -------------

1000

د- نسبة الوزن إلى الحجم W\ V: وزن المادة المذابة إلى حجم معين من المحلول مثل غم/لتر أو ملغم/ لتر (جزء بالمليون ppm) أو مايكرو غرام/ لتر (ppb)

Ppm = ملغم/ لتر = مايكرو غرام/ مل

الوزن (غم)

Ppm = -------------- × 10^6

الحجم (مل)

2 – التعبير عن تركيز العناصر الغذائية في النبات:

يقاس تركيز العناصر الغذائية في العينات النباتية المجففة تجفيف أولي على درجة 70 مئوي منعا للمشاكل التي قد تحدث في التركيب الكيميائي للعينه عند التجفيف على درجة 105 – 100، وبعد ذلك تؤخذ عينه نباتيه وتجفف في الفرن على درجة 105 – 100 لحساب الوزن الجاف تماما، ويتم حساب نتائج التحليل الكيميائي للنبات بشكل عام اعتمادا على الوزن الجاف وليس الوزن الرطب للنبات حيث أن الوزن الرطب غير ثابت ويتغير من وقت لأخر بتغير رطوبة التربة والظروف الجوية المحيطة كما انه يختلف باختلاف نوع النبات وعمره والجزء النباتي المأخوذ للتحليل، أما الوزن الرطب (الطازج) فيستعمل في حالات خاصه عندما يكون الهدف من التحليل هو القياس في الوزن الرطب ويكون هذا ملائما للاختبارات السريعة

العنصر	نوع الفرع	%
النتروجين	ثمري	١,٨٠
	خضري	١,٢٥
الفسفور	ثمري	٠,١٢
	خضري	٠,١٤
البوتاسيوم	ثمري	٠,٣٤
	خضري	٠,٤٢
الكالسيوم	ثمري	٢,٩٧
	خضري	٣,٣٤
المغنيسيوم	ثمري	٠,٥٠
	خضري	٠,٥٢
الكبريت	ثمري	٠,١٧
	خضري	٠,١٩

للنبات وهو مزروع، ويعبر عن تركيز العناصر الغذائية في النبات بوحدة النسبة المئوية (غم/ 100غم ماده جافه) أو بالملغرام/ غم ماده جافه أو غم/ كغم ماده جافه كما تستعمل وحدة الجزء بالمليون (ppm) خصوصا عند تقدير العناصر الصغرى وهي عباره عن عدد مليغرامات العنصر الموجودة في كغم من المادة الجافه (ملغم/ كغم) وهي تساوي أيضا عدد مايكرو غرامات العنصر الموجودة في غرام واحد من المادة الجافه (مايكرو غم/ غم).

ملغم/ غم = % × 10

غم/ كغم = % × 10

ppm = % × 10000

ومن تركيز العنصر الغذائي في النبات يمكن حساب الكميه الممتصة من العنصر أو ما يسمى الامتصاص الكلي total uptake للعنصر وهي تمثل الكميه الكلية من العنصر الغذائي التي امتصها النبات، وهي تعطي دليل على جاهزية العنصر في التربة، ويمكن حساب الكميه الممتصة من العلاقة التالية:

الامتصاص الكلي للعنصر = تركيز العنصر × الوزن الجاف للنبات

كما يمكن من تركيز العنصر حساب عامل الانتقال للعنصر داخل النبات من خلال المعادلة التالية:

عامل الانتقال (Translocation factor) للعنصر: = تركيز العنصر في الأجزاء العليا (shoot) / تركيز العنصر في الجذور (root)



الدرس العملي الثاني

اخذ العينات النباتية وإعدادها للتحليل الكيميائي

من اهم خطوات إجراء التجارب الزراعية هي عملية أخذ العينة النباتية التي تؤخذ لتمثل المتوسط الحقيقي للنمو في التجربة، لهذا يجب مراعات الدقة وأن نعتني عنايه فائقة عند اخذ أي عينه نباتيه حيث انه اذا حدث أي خطا في طريقة اخذ العينة لغرض تحليلها في المختبر فان هذا التحليل يصبح عديم الفائدة وبذلك يضيع الجهد المبذول في كافة العمليات اللاحقة كما يجب أن تكون العينة النباتية ممثله تماما للمادة النباتية المراد تحليلها، وتتوقف عملية اخذ العينة على الغرض الذي تؤخذ من أجله العينة (الهدف من الدراسة) ونوع النبات المزروع، ويتم اختيار الجزء النباتي الذي سيقطع ويؤخذ للتحليل بحيث يمثل حالة النبات الغذائية وفي اغلب الأحيان تؤخذ أوراق النباتات كعينات لغرض إجراء التحليل الكيميائي عليها حيث الأوراق تعتبر من افضل أجزاء النبات لغرض إجراء التحاليل فهي مركز معظم العمليات الحيوية التي يقوم بها النبات وعادة تؤخذ الأوراق الناضجة لأنها اكثر نشاطا وتأثرا بالمحتوى المعدني باستثناء حالات نقص الحديد ومحتوى البورون في بعض المحاصيل فتؤخذ الأوراق الفتيه، أما البذور فنادرا ما تستخدم للتحليل إلا في حالات معينه كتقييم سمية البورون ونقص عنصري الخارصين والفسفور في بعض المحاصيل.



وقت أخذ العينة

يختلف وقت أخذ العينة النباتية تبعا للهدف من الدراسة ولكن بشكل عام تؤخذ العينات في احد الأوقات التالية:

١. قد تؤخذ العينات النباتية في آخر عمر النبات أي في فترة الإنتاج.

٢. أو تؤخذ في فترة نمو معينه كان تكون في فترة النمو الخضري أو فترة الإزهار

٣. أو قد تؤخذ العينات النباتية على طول عمر النبات وبشكل مستمر فتؤخذ عينه في كل فترة نمو ولكافة مراحل نمو النبات.

يتضمن اخذ العينة وإعدادها لغرض التحليل ثلاث خطوات أساسيه هي:

١. تحديد مكان اخذ العينة النباتية

٢. قطع النبات

٣. تحضير العينة في المختبر

١. تحديد مكان اخذ العينة النباتية:

لغرض تحديد مكان اخذ العينة النباتية في تجارب الحقل يجب الأخذ بنظر الاعتبار لنقاط التالية:

أ- يتم جمع العينة النباتية من مناطق متفرقه من الحقل المعامل بمعامله واحده لتمثل العينة المأخوذة هذا الحقل تمثل حقيقي، ولجميع مكررات هذه المعاملة حيث يجب عدم إغفال أي مكرر حتى وان ظهرت هذه المكررات متجانسه فهناك اختلافات لا يمكن تمييزها بالنظر فقط

ب –لا يكون مكان اخذ العينة الجديدة ملاصق لمكان اخذ منه عينه سابقه حيث إزالة النباتات من المكان القديم قد يؤدي إلى نمو غير طبيعي في المكان المجاور بسبب توفر كميه زائده من الماء والغذاء في المكان الخالي من النباتات.

ج- يكون عدد النباتات في العينة الواحدة متساوية ولجميع المعاملات وتكرارها، فاذا كان الحقل مزروع نثرا كما في الحنطة والشعير فيتم تحديد المساحة التي تؤخذ منها العينة النباتية بوضع اطار ذي أبعاد محدده في المكان المحدد من الحقل ويتم اخذ النباتات الموجودة داخل هذا الاطار، أما في حالة النباتات المزروعة على خطوط كما في الذرة والقطن فيتم اخذ النباتات الموجودة على خط معين وبمسافه محدده للمكرر الأول، تؤخذ النباتات الموجودة على نفس الخط وبنفس المسافة لبقية المكررات، فمثلا تؤخذ النباتات الموجودة على طول متر من الخط الثالث من المكرر الأول وهكذا لبقية المكررات.

د – عدم التحيز عند اخذ العينات (وذلك بتأثير معلومات سابقه عن التجربة) هذا التحيز يؤدي في اغلب الأحيان إلى نتائج خاطئة.

هـ – عند اخذ العينات النباتية من حقل عام يجب الابتعاد عن طرق المواصلات الرئيسية وطرق المواشي ومناطق خزن السماد والمناطق القريبة من كيبلات الطاقة الكهربائية والأسيجة المطلية بالمعادن كذلك تجنب اخذ العينات مباشرة بعد إجراء عمليات المكافحة الحيوية أو بعد الري وسقوط الأمطار الغزيرة أو

3 – تحضير العينة في المختبر:

عند وصول العينة إلى المختبر يجب الإسراع في إعداد وتحضير العينة خوفا من حصول تغيرات في التركيب الكيميائي للعينه نتيجة استمرار عمليتي التنفس والنتح والتي يواصل النبات القيام بها لعدة ساعات بعد قطعه.

مختبر إعداد وتجهيز العينات يحتوي على: ميزان حساس لوزن العينات، منضده من الرخام لتحضير العينات عليها، أدوات تقطيع حاده، فرن كهربائي لتجفيف العينات، طاحونه لطحن العينات.

تنظف العينات النباتية عند وصولها إلى المختبر وهي خضراء لإزالة ما علق بها من غبار أو تراب أو أي مواد أخرى وذلك بغسلها بالماء العادي ثم بالماء المقطر مع ملاحظة عدم غسل العينات التي تتضمن تقديرات العناصر الذائبة أو العينات المجروحة أو المخدوشة أو غسلها باقل كميه من الماء ثم تجفيفها بقطعه من القماش الناعم.

عملية تحضير العينة في المختبر تتضمن ثلاث خطوات هي:

أ- تقطيع العينة ب - تجفيف العينة ج - طحن العينة

أ – تقطيع العينة:

معاملة النبات في المختبر تعتمد على الهدف من الدراسة فأما يعامل النبات كوحده واحده في عمليات التقطيع والتجفيف والطحن أو يقطع النبات إلى أجزاء مختلفة بحيث كل جزء يمثل عضو من أعضاء النبات كأن يقسم النبات إلى أوراق وفروع وسيقان وجذور والغرض من دراسة أجزاء النبات هو تتبع عملية حركة العنصر وانتقاله من كل جزء من النبات إلى الأجزاء الأخرى خلال عمر النبات.

ب – تجفيف العينة:

بعد تعليم العينات ووضع البيانات الدالة عليها، توضع العينات داخل كيس ورقي مثقب ثم توضع في الفرن، وفي عملية التجفيف يراعى ما يأتي:

- يكون التجفيف على درجة حراره 70- 60 درجه مئوية لمدة 72 -24 ساعه اعتمادا على نوع النسيج النباتي، هذه الدرجة كافيه لقتل الأنزيمات وإيقاف العمليات الحيوية داخل النبات

- عدم وضع عدد كبير من العينات داخل الفرن أو كبس العينات في الفرن وذلك لإعطاء مجال لخروج الماء الساخن من العينة وحتى لا يتغير لون العينة النباتية إلى اللون الأسود أو الأسود المخضر، التجفيف الصحيح هو أن تحتفظ العينة بلونها الطبيعي في الحقل.

00:26:47

- تقليب العينة داخل الفرن بين وقت وأخر للمساعدة في سرعة التجفيف.

- عند تجفيف العينات النباتية ذات المحتوى العالي من الماء خصوصا تلك النامية تحت سطح التربة مثل الدرنات يتم تقطيعها إلى شرائح ثم توضع في صواني تجفيف مثقبه (مشبك) بعد ذلك توضع في الفرن.

- يتم التأكد من تمام عملية التجفيف بوزن العينة ثم إعادتها إلى الفرن وإعادة وزنها بعد فتره وفي حالة ثبات الوزن تكون العينة قد وصلت إلى نهاية عملية التجفيف.

- بعد اكتمال عملية التجفيف تخرج العينة من الفرن وتترك لتبرد لكي تحصل حالة الاتزان مع الهواء الجوي، توزن العينة ويسمى الوزن الناتج بالوزن الجاف الخام Crude Dry Weight.

ج- طحن العينة:

بعد تجفيف العينات النباتية نقوم بطحنها باستخدام طاحونه كهربائية، وتعتبر الطواحين المستخدمة احد مصادر تلوث العينات النباتية خصوصا عند تقدير العناصر الصغرى لذلك يجب عدم استخدام طاحونه مصنوعه من نفس العنصر المراد تقديره، فمثلا لا تستخدم طاحونه مصنوعه من الحديد عندما يكون العنصر المراد تقديره هو الحديد وإنما يستخدم في طحن العينة هاون من الخزف الصيني، وبشكل عام يفضل في طحن العينات النباتية طواحين مصنوعه من الفولاذ، بعد طحن العينة تنخل بمنخل قطر 0.5 (1 -) ملم ويحفظ المسحوق الناتج في علب

زجاجيه ذات غطاء محكم مع تسجيل كافة المعلومات التي تدل على العينة على هذه العلبة وبالتالي تكون هذه العينة جاهزة للتحليل الكيميائي.



00:26:52

الدرس العملي الثالث

هضم العينات النباتية

تجفف العينات النباتية على درجة 70 - 75°م لمد ة 24 72 ساعه وذلك اعتمادا على نوع النسيج النباتي، والوزن الناتج من عملية التجفيف (والذي تبلغ نسبته بشكل عام 15 % من الوزن الرطب أو الأخضر) يطلق عليه الوزن الجاف الخام crude dry weight، وتشكل عناصر الكربون والأوكسجين والهيدروجين حوالي90 % من هذا الوزن وما تبقى من الوزن الجاف (10 %) يمثل وزن العناصر المعدنية الضرورية التي يحتاجها النبات وبهذا فان العناصر المعدنية لا تشكل سوى 1.5 % من الوزن الرطب للنبات، وعلى الرغم من انخفاض هذه النسبة فإنها تلعب دور مهم في حياة النبات لان الجزء الأعظم من هذه العناصر تنطبق عليها شروط العنصر الضروري وغيابها يعتبر محددا لنمو النبات.

عند إجراء عملية الحرق للمادة النباتية الجافه المطحونة يفقد الكربون على صورة ثاني أوكسيد الكربون بينما يفقد الهيدروجين والأوكسجين على شكل بخار ماء وتبقى العناصر المعدنية على شكل رماد (ash) يطلق عليه رماد العينة النباتية، وتتوقف كمية الرماد على نوع النبات وتركيز العناصر الغذائية في وسط نمو النبات.

توجد العناصر المعدنية داخل النبات في صور عديده أما متحدة في صورة مركبات عضويه أو مركبات غير عضويه أو في صورة أيونات مدمصه على السطوح الغروية، وغالبا ما توجد الانيونات في صوره عضويه (باستثناء الكلوريد الذي يوجد عادة بصورة أملاح معدنيه) بينما توجد الكاتيونات بصورة أملاح معدنيه ولوان عناصر المغنيسيوم والكالسيوم والحديد تتواجد عادة بصور عضويه حيث يدخل المغنيسيوم في تركيب الكلوروفيل والكالسيوم في تركيب جدار الخلية والحديد في تركيب السايتوكروم.

للحصول على رماد العينة النباتية نقوم بإجراء عملية الحرق والأكسدة للمادة العضوية أما بالحرق في الهواء الجوي (الحرق الجاف) أو الحرق باستخدام محاليل مؤكسده قويه (الحرق الرطب).

أنواع الحرق

1. الحرق الجاف: Dry Ashing

وهو عباره عن حرق العينة النباتية في درجات حراره عالية (500 . 550) درجه مئوية في الهواء الجوي لمدة 6-8 ساعات وتتم باستخدام جهاز المحرقة (المرمدة) Muffle Furnace على أن ترفع درجة

الحرارة بشكل تدريجي لضمان حصول حرق كامل للمادة العضوية، وتمتاز هذه الطريقة بانها بسيطة وسهله وغير خطره وغير مكلفه حيث لا تحتاج إلى استخدام مواد كيمياوية عديده مما يقلل من احتمال التلوث خاصة عند تقدير العناصر الغذائية الصغرى، هذه الطريقة تصلح لتقدير عناصر Na, K,Ca, Mg والعناصر الصغرى – عند تقديرها في النباتات ذات المحتوى المنخفض من السليكا– وبسبب درجات الحرارة العالية المستخدمة فان هناك بعض المساوي التي تؤخذ على طريقة الحرق الجاف:

1 . فقدان بعض العناصر بالتطاير مثل الفسفور الذي يفقد عند 600 ^{o} م والخارصين الذي يفقد عند 450 ^{o} م والبوتاسيوم عند 480 ^{o} م.

2 . انصهار بعض الأملاح وإحاطتها للكربون غير المحترق مما يعيق عملية الحرق

3 . تكون بعض المركبات السليكاتيه مع العناصر المعدنية وهذه المركبات لا تذوب في حامض HCl في الخطوة اللاحقة.

لتجنب هذه المشاكل يجب:

1 . لا تزيد درجة الحرارة عن 550 ^{o} م.

2 . إجراء حرق تدريجي للعينه النباتية.

3 . مراعات توفر الهواء الجوي.

4 . قد تعامل العينة قبل الحرق بحامض الكبريتيك للحصول على رماد مكبرت صعب الانصهار نسبيا.

5 . إضافة بعض الأملاح عند تقدير عناصر معينه وذلك لمنع تطاير هذه العناصر بسبب درجات الحرارة العالية فمثلا يضاف نترات المغنيسيوم عند تقدير الفسفور ويضاف أوكسيد الكالسيوم عند تقدير الكلوريد.

طريقة العمل:.

1 . يوزن 1 غم من العينة النباتية المطحونة وتوضع في جفنه من الخزف الصيني.

2 . توضع الجفنة في فرن كهربائي وتسخن تدريجيا ثم تنقل إلى المرمدة الـ muffle حيث ترفع درجة الحرارة حتى 550 إلى 500 ^{0} م ولفترة 6 ـ 8 ساعات اعتمادا على نوع النبات ولحين الحصول على رماد ابيض خالي من أي سواد.

3 . تستخرج الجفنة من المحرقة وتبرد ثم يضاف قليل من الماء المقطر بعد ذلك يتم إذابة الرماد بإضافة قليل من حامض HCl تركيز 1:1.

4 . توضع الجفنة في حمام مائي حتى جفاف محتوياتها(تقريبا ساعتين)، يضاف 10 مل من حامض HCl تركيز 1:1 ثم تسخن الجفنة ثانية حتى تمام ذوبان محتوياتها.

5 . ترشح محتويات الجفنة باستخدام ورق ترشيح خاص (whatman 42) ويستقبل الراشح في دورق حجمي 100 مل مع غسل الجفنة بالماء الساخن حيث تنقل محتويات الجفنة نقل كمي إلى الدورق عبر ورقة الترشيح ثم يكمل الدورق إلى العلامة بالماء المقطر- هذا الحجم يمثل حجم المستخلص الكلي للعينه النباتية.

6 . تنقل محتويات الدورق الحجمي إلى علبه زجاجيه ذات غطاء محكم لغرض إجراء التحليل الكيميائي.

7 . لغرض تقدير السليكون بالعينة النباتية، تؤخذ ورقة الرشيح (المتبقية من العملية السابقة) بما عليها من راسب (السليكات) وتوضع في محرقه muffle حيث تحرق حرق تام على 950 ° م وتحسب النسبة المئوية للسليكون بالعينة.

2 . الحرق الرطب (المبتل): Wet Ashing

هو حرق العينة النباتية باستخدام أحماض مركزه وتجرى عملية الحرق في غرفة سحب الغازات Fume Hood، يمتاز هذا النوع من الحرق بانه يتم في وسط حامضي وبذلك تتم عملية الأكسدة على درجة حراره غير مرتفعة — لا تزيد عن درجة غليان المخلوط الحامضي المستعمل بعملية الهضم - لذلك لا تظهر مشاكل الحرارة العالية التي ذكرناها في الحرق الجاف إلا أن هناك احتمال لتلوث العينة النباتية بسبب استخدام المواد الكيميائية خصوصا عند تقدير العناصر الغذائية الصغرى.

توجد عدة طرق لإجراء هذا النوع من الهضم منها:

أ . استخدام خليط الأحماض الثلاثي Triacid mixture:

وفيها يستخدم خليط من كل من حامض الكبريتيك المركز H_2SO_4، حامض النتريك المركز HNO_3 وحامض البروكلوريك (60- 62 %) $HClO_4$ حيث تخلط الأحماض الثلاثة بنسب 2 :1:5 على التوالي ودور كل حامض في عملية الهضم:

حامض النتريك HNO_3: هو مصدر الأوكسجين اللازم لعملية الأكسدة.

حامض البروكلوريك $HClO_4$ يعمل على تكسير أواصر المواد العضوية لتحويلها إلى مواد بسيطة سهلة الهضم والأكسدة كذلك يقلل من تطاير بعض مركبات العينة النباتية نتيجة وجود الأحماض الأخرى.

حامض الكبريتيك:H_2SO_4 تلطيف جو التفاعل وتنظيم عمليات تكسير الروابط وأكسدة المادة العضوية.

هذه الطريقة لا تصلح لتقدير عناصر الكبريت، النتروجين، الكلوريد وذلك بسبب احتواء خليط الأحماض المستخدم على هذه العناصر.

طريقة العمل

1 . يوزن 1 غم من العينة المطحونة وتوضع في دورق مخروطي حجم 100 مل.

2 . يضاف 10 مل من خليط الأحماض الثلاثي.

3 . يسخن الدورق في غرفة سحب الغازات على درجة حراره منخفضه لمدة 3 – 5 دقائق (لمنع تطاير حامض النتريك المضاف– إلى الجو على صورة أكاسيد النتروجين) بعد ذلك ترفع درجة الحرارة تدريجيا ونستمر بالتسخين حتى تتصاعد الأبخرة البيضاء ويتحول لون المحلول إلى رائق (عديم اللون).

4 . يبرد الدورق وتخفف محتوياته بالماء المقطر – بعد ذلك ير شح باستخدام ورق ترشيح خاص مع غسل دورق الهضم بالماء المقطر ويستقبل الراشح في دورق حجمي 100 مل ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر.

5 . تنقل محتويات الدورق إلى قنينه زجاجيه ذات غطاء محكم حيث تكون جاهزة للتحليل الكيميائي.

ب . استخدام خليط الأحماض الثنائي Diacid mixture:

وفيها يستخدم خليط من حامض النتريك المركزHNO_3 وحامض البروكلوريك $HClO_4$ حيث يخلط الحامضين بنسبة 4:9، هذه الطريقة لا يمكن استخدامها عند تقدير عنصري النتروجين والكلوريد بسبب احتواء الخليط الحامضي على هذين العنصرين بينما تصلح لتقدير عناصر:

P, K, Ca, Mg , S, Fe, Mn, Zn, and Cu في العينة النباتية.

طريقة العمل:

1. يوزن 1 غم من العينة النباتية الجافه والمطحونة وتوضع في دورق مخروطي حجم 100 مل

2 . يضاف 10 مل من خليط الحامضين ويحرك الدورق حركه رحوية لخلط المكونات مع بعضها.

3 . يسخن الدورق تسخين أولي على درجة حراره واطئة في غرفة سحب الغازات، بعد ذلك ترفع درجة الحرارة تدريجيا وتبخر محتويات الدورق حتى يصبح حجم المحلول 5 -3 مل مع تفادي جفاف العينة ويستدل على نهاية عملية الهضم بتحول لون المحلول إلى عديم اللون.

4 . يبرد الدورق وتخفف محتوياته بالماء المقطر – بعد ذلك ير شح باستخدام ورق ترشيح خاص مع غسل دورق الهضم بالماء المقطر ويستقبل الراشح في دورق حجمي 100 مل ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر.

5 . تنقل محتويات الدورق إلى قنينه زجاجيه ذات غطاء محكم حيث تكون جاهزة للتحليل الكيميائي.

ج . استخدام حامض الكبريتيك المركز وبيروكسيد الهيدروجين $H_2SO_4 + H_2O_2$

في هذه الطريقة تستخدم كميات قليله من بيروكسيد الهيدروجين تركيز 30% – بعد إضافة حامض الكبريتيك المركز وتسخين العينة – وذلك للمساعدة في هضم العينة وتقليل الرغوة الناتجة عن تفاعل الحامض مع العينة، مع ملاحظة انه لا يمكن استخدام هذه الطريقة عند تقدير الكبريت في العينات النباتية.

طريقة العمل:

1 . يوزن 1 غم من العينة النباتية الجافه والمطحونة وتوضع في دورق مخروطي 100 مل.

2 . يضاف 10 مل من حامض الكبريتيك المركز H_2SO_4 وتسخن العينة مبدئيا على درجة حراره منخفضه (يفضل ترك العينة مع الحامض ليله كامله over night قبل التسخين).

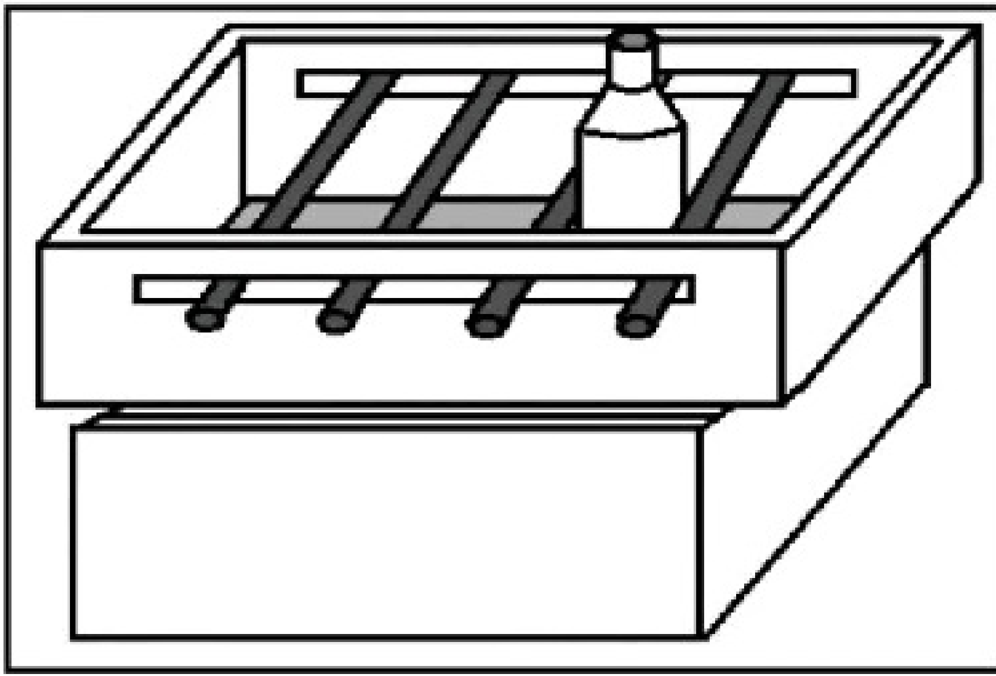
3 . ترفع درجة الحرارة تدريجيا ونستمر بالتسخين حتى الغليان – تبرد العينة ثم يضاف قطرات من بيروكسيد الهيدروجين H_2O_2 ثم نعيد تسخين العينة حتى خروج الأبخرة البيضاء.

تكرر الخطوة السابقة عدة مرات حتى يتحول لون المحلول إلى رائق.

4 . يبرد الدورق وتخفف محتوياته بالماء المقطر – بعد ذلك يرشح باستخدام ورق ترشيح خاص مع غسل دورق الهضم بالماء المقطر ويستقبل الراشح في دورق حجمي 100 مل ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر.

5 . تنقل محتويات الدورق إلى قنينه زجاجيه ذات غطاء محكم حيث تكون جاهزة للتحليل الكيميائي.





الدرس العملي الرابع

تقدير النتروجين

الأهمية الفسيولوجية للنتروجين:

يمتص النبات عنصر النتروجين على صورة أمونيوم NH_4^+ أو على صورة نترات NO_3^- ويعتبر هذا العنصر من اهم العناصر الضرورية التي يحتاجها النبات بعد عناصر الكربون والهيدروجين والأوكسجين حيث تحتوي المادة النباتية الجافه بشكل عام على ما يقرب من 2-4% نتروجين، وعلى الرغم من قلة هذه الكميه فان النتروجين عنصر لا غنى عنه حيث انه:

1- يدخل في تركيب البروتينات والأنزيمات ومرافقات الأنزيمات.

2- يدخل في تركيب القواعد العضوية مثل pyrimidine و purines وهذه القواعد تدخل في تركيب الأحماض النووية مثل RNA و DNA المسؤولة عن نقل الصفات الوراثية.

3- يدخل في تركيب الكلوروفيل (لهذا فان عنصر النتروجين يزيد من خضرة النبات) والسايتوكروم المهمتين في عملية التركيب الضوئي وعملية التنفس.

4- يشترك النتروجين في تركيب بعض الفيتامينات وبعض الهرمونات النباتية مثل الاندول اسيتك اسد indol acetic acid (IAA).

أعراض نقص النتروجين على النبات:

1 -ضعف نمو النبات حيث تتميز النباتات التي تعاني من نقص النتروجين بصغر حجمها وقلة تفرعاتها وتكون السيقان رفيعة وطويله والأوراق صغيره حيث الأوراق القديمة تتساقط قبل اكتمال نضجها.

2 -ازدياد نسبة الجذور إلى الأجزاء العليا.

3 -اصفرار الأوراق chlorosis بسبب قلة تكون الكلوروفيل – يبدأ الاصفرار براس الورقة ثم العرق الوسطي وبعد ذلك يغطي معظم الورقة ويكون توزيع الاصفرار منتظم على كل الورقة.

4-أعراض النقص والاصفرار تظهر أولا على الأوراق السفلية والقديمة حيث النتروجين عنصر متحرك داخل النبات فينتقل من الأوراق والأعضاء القديمة إلى الأوراق الحديثة لذلك تظهر أعراض نقصه على الأجزاء القديمة.

5- وفي المراحل الأخيرة لنقص العنصر يظهر موت موضعي لأنسجة الورقة.

أعراض نقص النتروجين يمكن تعالج عن طريق إضافة الأسمدة النيتروجينية المعدنية (كبريتات الأمونيوم، نترات الأمونيوم، نترات الكالسيوم، اليوريا وغيرها من الأسمدة) أو الأسمدة العضوية أو كليهما وبمعدلات تختلف باختلاف نوع النبات وخصوبة التربة والعوامل البيئية الأخرى.

عند الزيادة المفرطة للنتروجين في وسط النمو تظهر على النبات علامات الاخضرار الغامق وكثرة النمو الخضري على حساب الإنتاج الثمري وضعف السيقان وطراوة الأوراق واضطجاع النبات بسبب طراوة النبات (وهذه ناتجه عن زيادة كمية البروتين على الكربوهيدرات في النبات) زيادة النتروجين كثيرا في وسط النمو تعرض النبات للإصابة بالأمراض والحشرات بسبب رقة جدران الخلايا.

تقدير النتروجين في العينات النباتية

الفكرة الأساسية للتقدير

يوجد النتروجين في النبات بعدة صور:

1 – الصورة العضوية (مثل الأحماض الأمينية، البروتينات).

2 – الصورة المعدنية: وهي أما أن تكون بصورة نترات NO_3 وهي تمثل الصورة المؤكسدة أو تكون بصورة أمونيوم NH_4 وهي الصورة المختزلة.

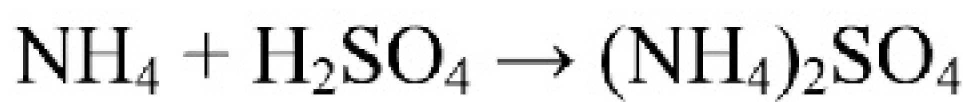
فكرة تقدير النتروجين تتضمن أكسدة المادة العضوية ثم اختزال المركبات النيتروجينية إلى صورة نشادر (أمونيوم) يسهل اتحادها مع حامض الكبريتيك المركز لتكوين كبريتات الأمونيوم ثم تطرد الأمونيا وتقدر بطريقه معينه وعادة تجرى عملية الاختزال على الصورة العضوية والصورة النتراتية وبالتالي سوف تكون جميع الصور بصورة نتروجين أمونيومي.

تتلخص خطوات التقدير بالمراحل الثلاثة التالية:

١- مرحلة الهضم Digestion:هي عملية هضم العينة النباتية (وفيها ترفع درجة الحرارة تدريجيا) وفي هذه المرحلة يتم تحويل صور النتروجين العضوي والنتراتي إلى صورة أمونيوم وتتم على مرحلتين:

أ-أكسدة المادة العضوية عن طريق حامض الكبريتيك المركز.

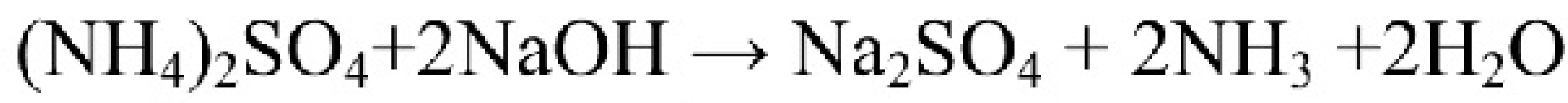
ب-اختزال المركبات النيتروجينية عن طريق SO_2 الذي يتكون نتيجة تفاعل حامض الكبريتيك المركز مع ثايو كبريتات الصوديوم:



$$NH_4 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4$$

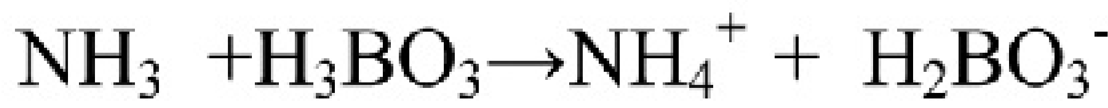
00:27:22

٢- مرحلة التقطير Distillation: تجرى عملية التقطير للعينه وذلك باستخدام جهاز كلدال kjeldahl لإطلاق الأمونيا من كبريتات الأمونيوم وتتم هذه العملية في وسط قاعدي بوجود قاعده قويه مثل NaOH



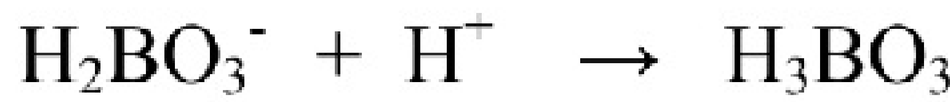
$$(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2NH_3 + 2H_2O$$

وهذه الأمونيا المتحررة تستقبل في حامض البوريك H_3BO_3 مكونه بورات الأمونيوم



$$NH_3 + H_3BO_3 \rightarrow NH_4^+ + H_2BO_3^-$$

٣-مرحلة التسحيح Titration: وفيها يتم تسحيح أيونات البورات لبورات الأمونيوم مع حامض معلوم العيارية وبوجود دليل مناسب مثل دليل المخلوط:



$$H_2BO_3^- + H^+ \rightarrow H_3BO_3$$

المواد المستخدمة:

1- مخلوط حامض الكبريتيك والسلسليك: 1 غم حامض السلسليك + 30 مل حامض الكبريتيك المركز.

2-ثايو كبريتات الصوديوم.

3-مخلوط الكبريتات ($CuSO_4$+ $FeSO_4$ + K_2SO_4) بنسبة 10 :1 :0.5

4-هيدروكسيد الصوديوم (10) عياري: 400 غم/ لتر

5-حامض البوريك %2: 20 غم/لتر

6- دليل المخلوط (احمر المثيل + ازرق المثيلين):

أ- يوزن 0.125 غم احمر المثيل ويذوب في 100 مل كحول إيثانول 95%

ب- يوزن 0.2 غم ازرق المثيلين ويذوب في 100 مل ماء مقطر

ج- يؤخذ 80 مل من الأول + 20 مل من الثاني

دليل المخلوط (بروم كريزول كرين + احمر المثيل)

أ- يوزن 0.1 غم من بروم كريزول كرين ويذوب في 100 مل ماء مقطر + 2 مل من NaOH (0.1) عياري

ب- يوزن 0.1 غم من احمر المثيل ويذوب في 100 مل كحول إيثانول 95% + 3 مل Na0H (0.1) عياري

ج- يؤخذ 75 مل من الأول + 25 مل من الثاني ثم تخفف المحتويات إلى 200 مل من

كحول الإيثانول 95%.

7- مخلوط (حامض البوريك + دليل المخلوط): 980 مل محلول حامض البوريك + 20 مل دليل المخلوط.

8- حامض HCl (0.014)عياري

طريقة العمل:

1- يوزن (0.5 - 0.1)غم من العينة النباتية الجافه المطحونة وتوضع في دورق جهاز كلدال (يعتمد الوزن على نوع النسيج النباتي وتركيز العنصر).

2- يضاف (25 - 5) مل من مخلوط حامض السلسليك والكبريتيك مع الرج الرحوي ومن ثم تترك لمدة ساعه (يفضل ترك العينة ليله كامله).

3- يضاف (2.5 - 0.5) غم ثايو كبريتات الصوديوم $Na_2S_2O_3$ ويسخن لمدة 5 دقائق بحيث لا يحدث فوران شديد.

4- تبرد العينة ثم يضاف (5- 1) غم من مخلوط الكبريتات وتبدا عملية الهضم في جهاز كلدال (Macro kjeldahl) ويستمر الهضم (ربع ساعه – ساعه) إلى أن يصبح المحلول رائقا.

5- تبرد العينة ويضاف (30-150)مل من ماء مقطر ثم يضاف (50 -10) مل NaOH مركزه

6- يضاف بعض الكرات الزجاجية لتنظيم الغليان ثم تجرى عملية تقطير الأمونيا حيث تستقبل في دورق مخروطي يحوي (10-25) مل من مخلوط حامض البوريك + دليل المخلوط (يكون لونه بنفسجي عند استعمال دليل احمر المثيل +ازرق المثيلين) تكون نهاية أنبوب التقطير منغمسه في محلول حامض البوريك.

7- ترفع أنبوبة المكثف (بعد أن يملأ 1/2 – 2/3) الدورق المخروطي وبشرط ان يتحول لون المحلول من البنفسجي إلى الأخضر مع مراعات غسل أنبوبة المكثف للتخلص مما يكون عالقا بها من محلول العينة.

8- تجرى عملية التسحيح مع محلول حامض HCl (0.014) عياري إلى أن يتحول لون المحلول من الأخضر إلى اللون البنفسجي، يسجل حجم الحامض المستهلك في عملية التسحيح.

الحسابات:

حجم الحامض ×عيارية الحامض = عدد مليمكافئات الحامض = عدد مليمكافئات النتروجين

عدد مليمكافئات النتروجين × الوزن المكافئ للنتروجين = ملغرام نتروجين

$$\%N = \frac{\text{حجم الحامض} \times \text{عياريته} \times \text{الوزن المكافئ لـ } N}{1000} \times \frac{\text{حجم المستخلص الكلي}}{\text{حجم المستخلص المستخدم}} \times \frac{100}{\text{وزن العينة}}$$

الوزن المكافئ للنتروجين: 14

يجب مراعاة ما يلي عند إجراء عملية الهضم:

أ- استعمال مواد مؤكسده قويه مثل حامض البركلوريك يؤثر على مرحلة الاختزال وبالتالي يجب عدم استخدام مثل هذه المواد حتى لا تطغى عملية الأكسدة على عملية الاختزال.

ب- استخدام حامض H_2SO_4 المركز وبالتالي يمكن ان تفقد النترات وللتغلب على هذه المشكلة تضاف مواد مساعده مختزله (عادة مواد تتحد مع النترات قبل فقدانها) مثل Cu, Fe أو بإضافة حامض السلسليك أو مادة الفينول هذه المواد لها القدرة على مسك النترات ومنعها من الفقد مكونه نترو فينول أو نترو سلسليك وهذه الصور يمكن اختزالها بسهوله عن طريق SO_2 الذي يتكون نتيجة تفاعل حامض الكبريتيك مع ثايو كبريتات الصوديوم.

ت- فائدة إضافة مخلوط الكبريتات:

K_2SO_4: لرفع درجة غليان مخلوط العينة النباتية مع الحامض المركز

$FeSO_4$+ $CuSO_4$: عوامل مساعده للهضم والاختزال

يجب مراعاة ما يلي عند إجراء عملية التقطير:

أ- يجب تلافي إضافة كميات زائده من Na0H حتى لا يحدث نقل ميكانيكي لل NaOH أثناء تقطير العينة وبالتالي تضاف الكميه المناسبة لتطاير الأمونيا، الإضافة تكون على جدران قمع الجهاز خوفا من حدوث حراره شديده تؤدي إلى كسر الجهاز.

ب- يجب التأكد من انغماس نهاية أنبوب التقطير في حامض البوريك لكي لا يحدث فقد الأمونيا نتيجة لاختلاط الـ NaOH بالحامض قبل بداية التقطير.

مثال:

عينه نباتيه وزنها الجاف(0.5) غم هضمت واكمل الحجم النهائي إلى (50) مل، اخذ منها (5) مل لتقدير النتروجين فكان حجم حامض HCl هو (1) مل وعياريته (0.014)، احسب تركيز النتروجين بالعينة بوحدات: 1 – نسبه مئوية 2 – ppm

الحل:

(1):

$$\%N = \frac{\text{حجم الحامض} \times \text{عياريته} \times \text{الوزن المكافئ لـ } N}{1000} \times \frac{\text{حجم المستخلص الكلي}}{\text{حجم المستخلص المستخدم}} \times \frac{100}{\text{وزن العينة}}$$

$$\%N = \frac{14 \times 0.014 \times 1}{1000} \times \frac{50}{5} \times \frac{100}{0.5}$$

$$= 0.392\ \%$$

(2):

ppm = ملغم/كغم

$$= \text{ح الحامض} \times \text{عياريته} \times 14 \times \frac{\text{حجم المستخلص الكلي}}{\text{حجم المستخلص المستخدم}} \times \frac{1000}{\text{وزن العينة}}$$

$$= 1 \times 0.014 \times 14 \times \frac{50}{5} \times \frac{1000}{0.5}$$

$$= 3920$$

أو يتم حل السؤال كما يلي:

$$\text{ppm} = \text{النسبة المئوية}\ \% \times 10000$$

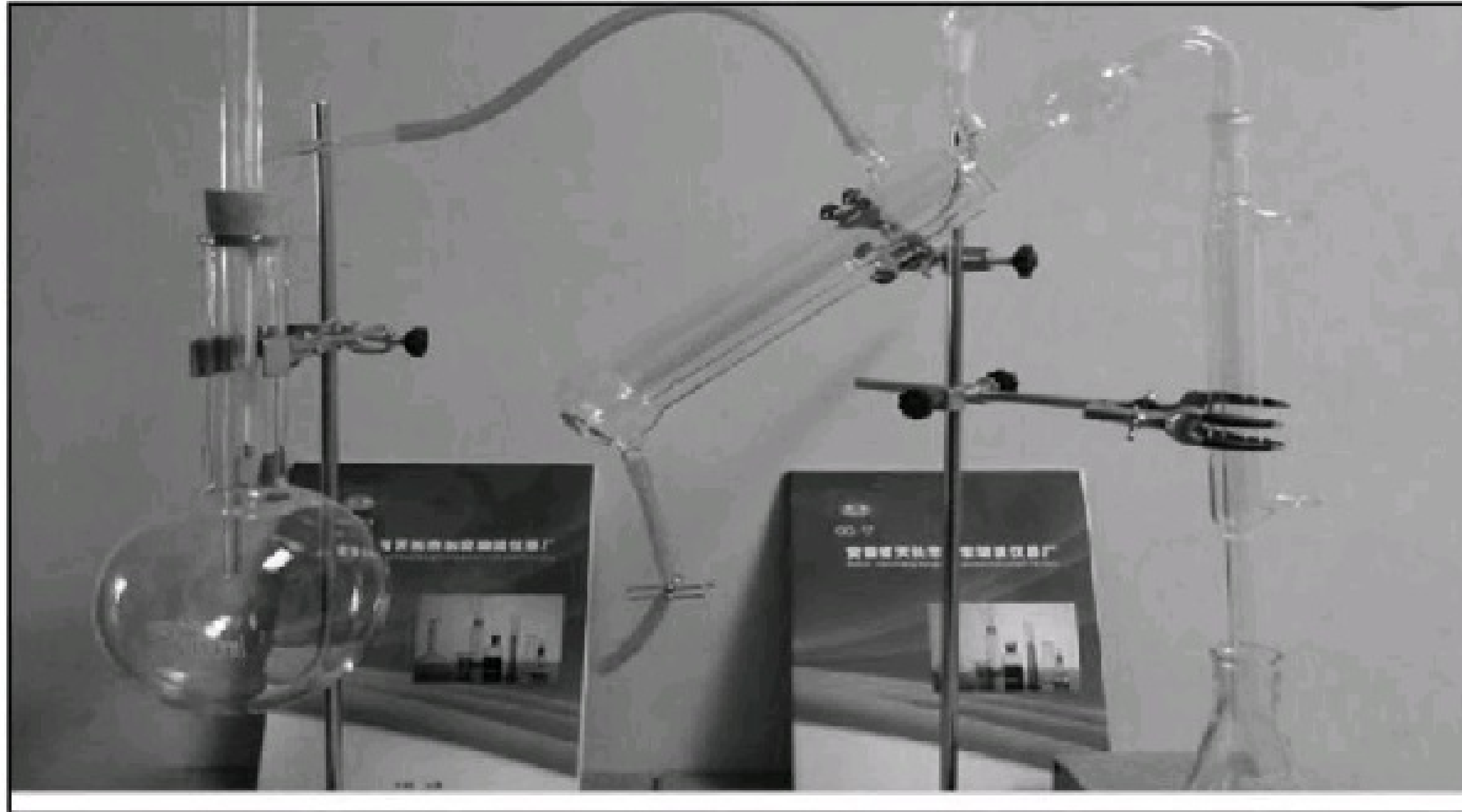
$$= 0.392 \times 10000$$

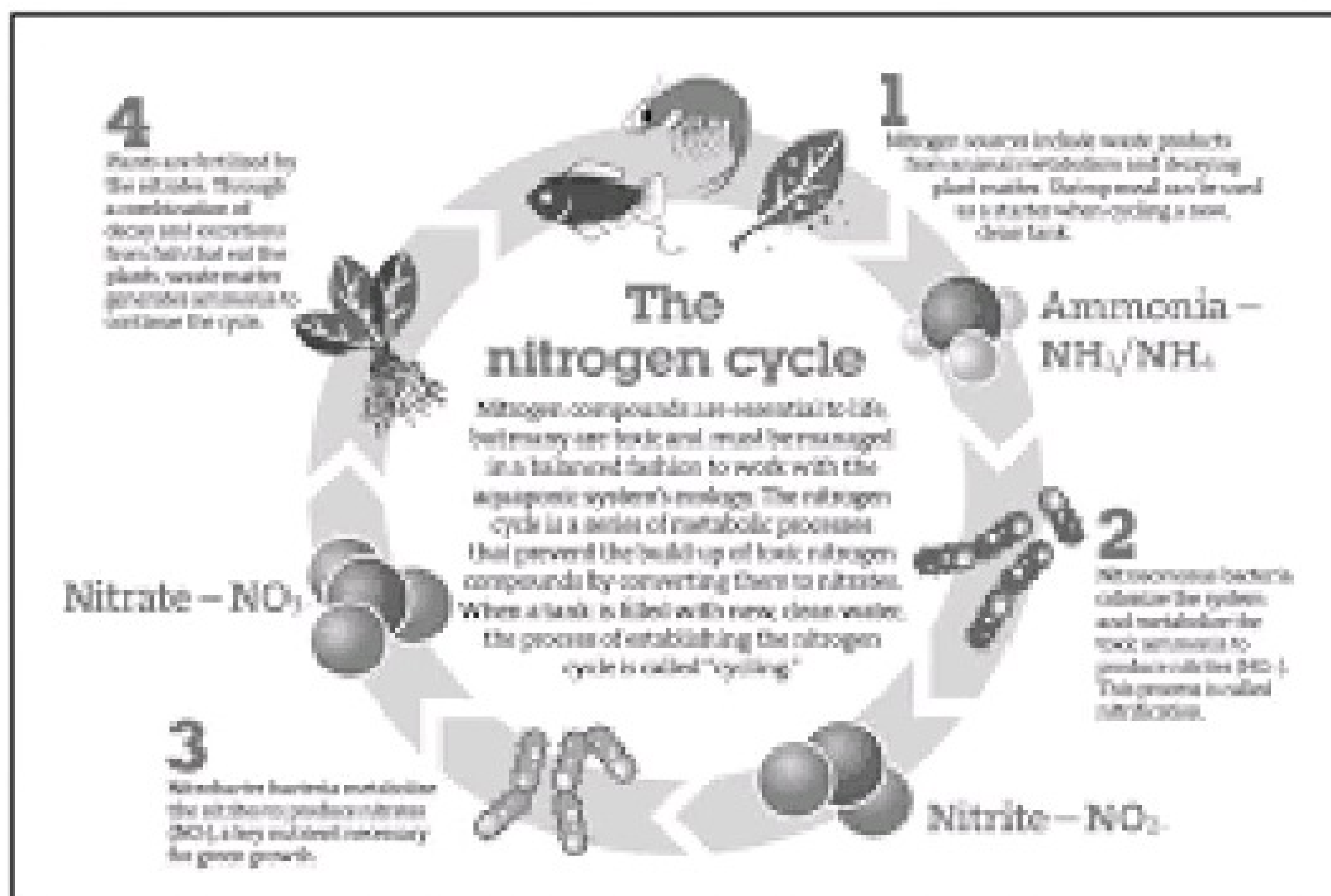
$$= 3920$$

س/ اذا كان تركيز النتروجين في عينه نباتيه هو 1000 ppm فما هو تركيز هذا العنصر بوحدات: 1- نسبه مئوية 2 – ملغم/كغم 3 – غم/كغم

س/ اخذ (5) مل من مستخلص نباتي حجمه الكلي (100) مل ومحضر من هضم 1 غم ماده نباتيه وتم تقدير النتروجين بطريقة kjeldahl فكان عدد مليمكافئات الحامض اللازم للمعايرة هو 0.05 مليمكافئ، احسب تركيز النتروجين بالعينة بوحدات:

غم/ 100 غم، مايكرو غرام/ غم





00:27:37

الدرس العملي الخامس

تقدير الفسفور

الأهمية الفسيولوجية للفسفور

يعتبر عنصر الفسفور من المغذيات الضرورية الكبرى التي يحتاجها النبات ويمتص النبات هذا العنصر على شكل $H_2PO_4^-$ أو HPO_4^{-2} وبكميات اقل مما هي عليه في حالة النتروجين والبوتاسيوم حيث يشكل الفسفور 0.03 – 0.3 % من المادة الجافه للنبات وترتفع هذه النسبة في البذور لتصل إلى 1.5 %، وعلى الرغم من هذه الكميه القليلة إلا أن الفسفور يلعب دور كبير في حياة النبات ولا يستطيع النبات إكمال دورة حياته بدون هذا العنصر حيث انه

1 – يشترك في تكوين الأحماض النووية مثل الـ DNA و الـ RNA والبروتينات النووية Nucleoproteins.

2 – يدخل في تركيب غشاء الخلية النباتية على شكل phospholipids.

3 – يدخل في تركيب مرافقات الأنزيمات coenzymes مثل NAD و $NADP^+$ المهمة في عمليات التنفس والتركيب الضوئي والأكسدة والاختزال.

4 – يدخل في تركيب مركبات الطاقة مثل ATP وهذه تلعب دور كبير في نقل وتخزين الطاقة وتنشيط التفاعلات المختلفة.

5 – يشارك الفسفور في تحليل الكربوهيدرات لإنتاج الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية.

6- يؤدي دور مهم في إنبات البذور وزيادة عدد الأزهار كما يزيد الفسفور من نمو الجذور وزيادة تفرعاتها.

أعراض نقص الفسفور على النبات

1 . ضعف نمو النبات – تقزم المجموع الخضري وضعف نمو وانتشار المجموع الجذري والأفرع رفيعة كما ان الثمار تكون صغيره وذات بذور مشوهه.

2 . تكون الأوراق ذات لون اخضر داكن مزرق وصغيرة الحجم وتتلون عروق الأوراق وأعناقها باللون الأرجواني المحمر نتيجة تكون صبغة الانثوسيانين وهذه تتكون بسبب عدم تحلل المواد الكربوهيدراتية.

3 ـ تظهر أعراض نقص الفسفور على الأوراق القديمة لان الفسفور عنصر متحرك داخل النبات حيث انه ينتقل بسهوله من الأوراق والأجزاء القديمة إلى الأوراق الحديثة لذلك تظهر أعراض نقصه على الأجزاء القديمة.

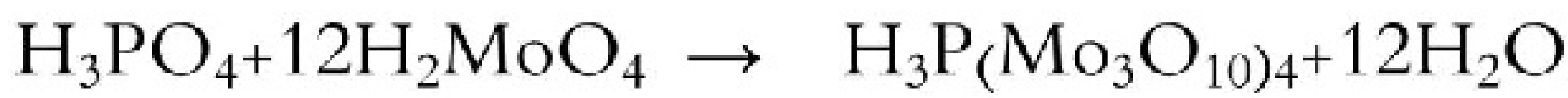
4 . في حالة النقص الشديد تظهر حالة المبرقش على الأوراق القديمة ثم يتبع ذلك سقوط هذه الأوراق.

تعالج أعراض نقص الفسفور على النبات بإضافة الأسمدة الفوسفاتية مثل سماد السوبر فوسفات بأنواعه أو سماد فوسفات الأمونيوم أو الأسمدة المركبة الحاوية على الفسفور وتضاف هذه الأسمدة بمعدلات تختلف باختلاف النبات والتربة والظروف البيئية.

تقدير الفسفور في العينات النباتية

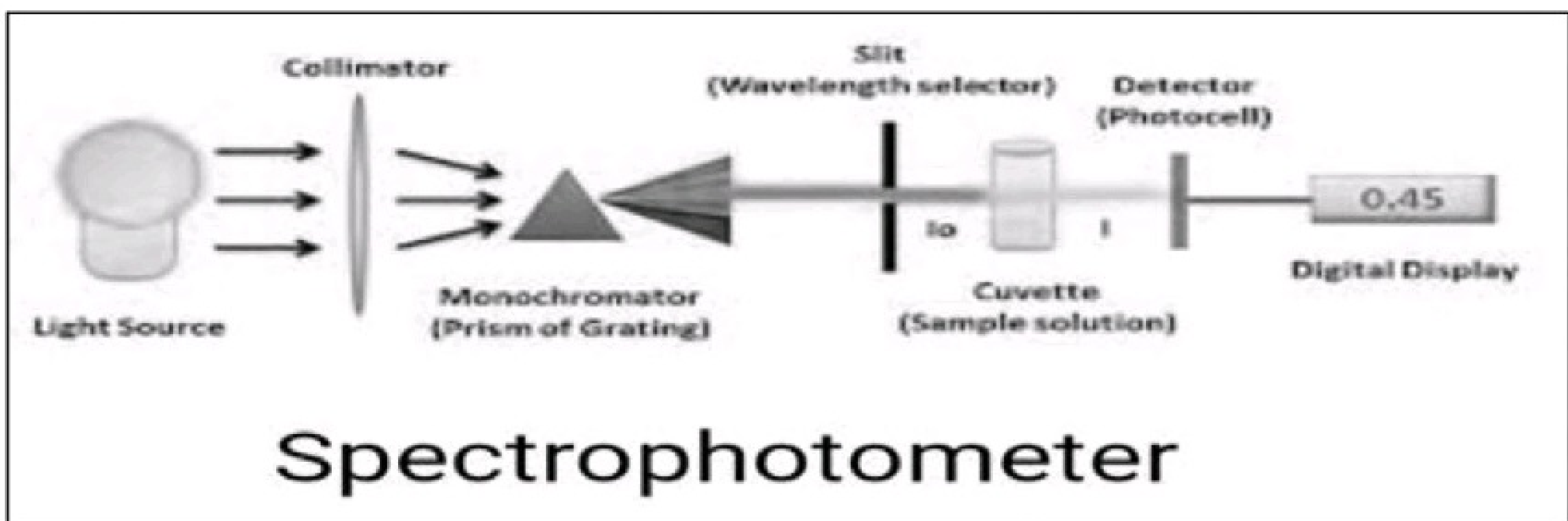
الفكرة الأساسية للتقدير

يتفاعل الفسفور الموجود في المستخلص النباتي مع المولبيدات تحت الظروف الحامضية (حامض النتريك) مكون معقد (فوسفو موليبيداتي) اصفر اللون كما في المعادلة:



$$H_3PO_4+12H_2MoO_4 \rightarrow H_3P(Mo_3O_{10})_4+12H_2O$$

يتم تطوير اللون الأصفر بوجود الفاندات، شدة اللون الأصفر تعتمد على تركيز الفسفور في المستخلص ويمكن قياس شدة هذا اللون باستخدام جهاز قياس الطيف الضوئي spectrophotometer وعند طول موجي 410 نانوميتر، وعادة يظهر اللون الأصفر خلال عدة دقائق (يترك المحلول عادة 30 دقيقه حتى يظهر اللون بصوره كامله) ويبقى هذا اللون ثابت لمدة شهرين عند تراكيز الفسفور العالية ولكنه يظل ثابت لمدة أسبوعين عندما تكون تراكيز الفسفور بحدود 5ppm، من محاسن هذه الطريقة السهولة والبساطة وثباتيه اللون كما أنها خاليه من التداخلات.



المواد المستخدمة

موليبدات الأمونيوم . فاندات الأمونيوم في حامض النتريك:

1 . محلول (a): أذب 22.5 غم من موالبيدات الأمونيوم $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ في 400 مل ماء مقطر.

2 . محلول (b): أذب 1.25 غم فاندات الأمونيوم NH_4VO_3 في 300 مل ماء مقطر.

3 .اضف محلول (b) إلى محلول (a) في دورق حجمي لتر، اترك المزيج يبرد.

4 . اضف بحذر 250 مل من حامض النتريك المركز HNO_3 إلى المزيج السابق، اترك المزيج يبرد حتى درجة حرارة الغرفة ثم اكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

طريقة العمل:.

1 . يسحب 10 مل من المستخلص الحامضي للنبات ويوضع في دورق حجمي 100 مل.

2 . يضاف 10 مل من محلول (مولبدات فاندات الأمونيوم) إلى الدورق.

3 . يضاف ماء مقطر إلى نصف الدورق ويرج ثم يكمل إلى العلامة بالماء المقطر.

4 . بعد 30 دقيقه تتم قراءة الامتصاصية على جهاز الطيف الضوئي (جهاز الـ Spectrophotometer) وعند طول موجي 410 نانوميتر وتسجل قراءة الجهاز لعينة المستخلص النباتي.

5 . يتم تحضير محاليل قياسيه للفسفور بتراكيز متدرجه:

0.5ppm, 1ppm, 1.5ppm, 2ppm, 2.5ppm

6 . تسجل قراءة كل محلول من المحاليل القياسية السابقة على جهاز الـ Spectrophotometer وعند طول موجي 410 نانوميتر.

7 . يرسم منحنى قياسي والذي يوضح العلاقة بين تراكيز المحاليل القياسية وقراءة الجهاز لهذه المحاليل.

8 . يتم تسقيط قراءة الجهاز لعينة المستخلص النباتي على المنحنى القياسي للحصول على تركيز الفسفور بوحدة ملغم/لتر (ppm بعد التسفيط).

تحضير المحاليل القياسية للفسفور

1 . يتم تحضير محلول قياسي اصلي (محلول الأم) للفسفور stock solution بتركيز 50 ppm من أي ملح يحتوي على الفسفور (يكون هذا الملح معلوم التركيب و نقي وسهل الذوبان وغير متميع) مثل ملح KH_2PO_4 وذلك اعتمادا على الأوزان الذرية:

KH_2PO_4 غم	P غم
136	31
x	0.05

X = 0.2195 غم يوزن من ملح فوسفات البوتاسيوم ثنائي الهيدروجين KH_2PO_4 الجاف (يجفف الملح في فرن قبل الوزن على درجة 105° م لمدة ساعه ويبرد في مجفف) ويوضع في دورق حجمي واحد لتر ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر.

2 . من المحلول القياسي (50 ppm) تحضر المحاليل القياسية:

0.5 ppm, 1 ppm, 1.5 ppm, 2ppm, 2.5 ppm

وذلك في دوارق حجميه 100 مل اعتمادا على القانون التالي:

$$\text{الحجم المطلوب أخذه من المحلول الأصلي} = \frac{\text{الحجم المطلوب} \times \text{التركيز المطلوب}}{\text{التركيز الأصلي}}$$

تسحب الأحجام 5 ,4 ,3 ,2 ,1 مل من المحلول الأصلي (50ppm) ويوضع كل حجم في دورق حجمي 100 مل.

3 . يضاف 10 مل من محلول (موليبدات فاندات الأمونيوم) إلى كل دورق من الدوارق السابقة ثم تكمل إلى العلامة بالماء المقطر.

4 . بعد (30) دقيقه تسجل قراءة كل محلول من المحاليل السابقة على جهاز spectrophotometer وعند طول موجي 410 نانوميتر.

5 . يتم عمل عينة مقارنه (Blank) لتصفير الجهاز وهذه العينة تتضمن جميع المواد المستخدمة في التقدير باستثناء عينة النبات.

الحسابات

$$\% P = \frac{ppm}{1000} \times \frac{\text{حجم الدورق المستخدم للتقدير}}{1000} \times \frac{\text{حجم المستخلص الكلي}}{\text{حجم المستخلص المستخدم}} \times \frac{100}{\text{وزن العينة}}$$

مثال:

عينه نباتيه وزنها الجاف 1 غم هضمت واكمل الحجم النهائي إلى 100مل، اخذ منها 1مل لتقدير الفسفور حيث وضعت في دورق حجمي 100 مل، فاذا علمت أن ppm بعد التسقيط من المنحنى كانت 0.05 احسب تركيز الفسفور في العينة بوحدات:

1 – نسبه مئوية　　　　2 – ppm　　　　3 – غم/ كغم

الحل:

(1)　　%

$$\% P = \frac{ppm}{1000} \times \frac{\text{حجم الدورق المستخدم للتقدير}}{1000} \times \frac{\text{حجم المستخلص الكلي}}{\text{حجم المستخلص المستخدم}} \times \frac{100}{\text{وزن العينة}}$$

$$\% P = \frac{0.05}{1000} \times \frac{100}{1000} \times \frac{50}{1} \times \frac{100}{1} = 0.025\%$$

(2) ppm

$$\text{ppm فسفور} = \text{ppm} \times \frac{\text{حجم الدورق المستخدم}}{1000} \times \frac{\text{حجم المستخلص الكلي}}{\text{حجم المستخلص المستخدم}} \times \frac{1000}{\text{وزن العينة}}$$

$$\text{ppm فسفور} = 0.05 \times \frac{100}{1000} \times \frac{50}{1} \times \frac{1000}{1}$$

$$= 250\ \text{ppm}$$

أو يحل بطريقة أخرى:

$$\text{ppm} = \% \times 10000$$

$$= 0.025 \times 1\,0000$$

$$= 250\ \text{ppm}$$

(3) غم/ كغم

نسبة الفسفور 0.025 % أي كل 100 غم نبات تحتوي على 0.025 غم فسفور

فسفور (غم)	وزن النبات (غم)
0.025	100
X	1000

X = 0.25 غم فسفور/ كغم نبات

مثال: حضر محلول قياسي للفسفور من ملح KH_2PO_4 بتركيز 25 ppm في دورق حجمي 500 مل ؟

الحل:

25 ppm = 25 ملغم/لتر

هذا الوزن في لتر (1000مل) أما في 500 مل فيكون:

ml	mg
1000	25
500	x

X = 12.5 ملغم فسفور/ 500 مل

KH_2PO_4 غم	P غم
136	31
X	0.0125

X = 0.054 غم يذوب من الملح في دورق 500 مل ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر.

مثال: لديك 1.10 غم من ملح KH_2PO_4، حضر منه محلول قياسي في دورق حجمي لتر ثم حضر من هذا المحلول محلول قياسي آخر تركيز 5 ppm في دورق حجمي 50 مل ؟

الحل:

KH_2PO_4 غم	P غم
136	31
1.10	x

X = 0.250 غم فسفور = 250 ملغم = 250 ppm تركيز المحلول الأصلي

الحجم المطلوب أخذه من المحلول الأصلي = (الحجم المطلوب × التركيز المطلوب) / التركيز الأصلي

$$= \frac{5 \times 50}{250}$$

= 1 مل يسحب من المحلول الأصلي ويوضع في دورق 50 مل ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر للحصول على محلول قياسي تركيزه 5 جزء بالمليون.

واجب ربيتي

س/ لديك ثلاث دوارق حجميه 250 ، 500، 1000 مل اضفي إلى كل دورق من هذه الدوارق 4.38 غم من ملح KH_2PO_4 النقي واكمل الحجم إلى العلامة بالماء المقطر، احسب تركيز الفسفور بالـ ppm في كل دورق.

س/ أذيب 0.219 غم من ملح KH_2PO_4 النقي في لتر ماء مقطر، بعد ذلك سحبت الأحجام 2، 4، 6 مل من المحلول السابق ووضع كل حجم في دورق معياري 100 مل واكمل الحجم إلى العلامة بالماء المقطر، احسب تركيز الفسفور كجزء بالمليون في هذه المحاليل.

الدرس العملي السادس
تقدير البوتاسيوم

الوظائف الفسيولوجية للبوتاسيوم

يمتص النبات عنصر البوتاسيوم على شكل أيونات البوتاسيوم (K^+) وبشكل نشط (حيوي) حيث يتجمع البوتاسيوم داخل النبات ضد التدرج بالتركيز مع المحيط الخارجي، وتتراوح نسبة هذا العنصر في النبات بين 0.2- 3.5 % ولم يثبت علميا دخوله في تكوين مواد عضويه داخل النبات (يوجد غالبا بصورة أملاح معدنيه) لذلك يمكن استخلاصه من العينة النباتية باستخدام أحماض مخففه مثل حامض الخليك 2 %، يلعب البوتاسيوم دور مهم في حياة النبات من خلا ل الوظائف المهمة التي يؤديها وهي:

1 . يقوم البوتاسيوم بدور العامل المساعد في عمليات التركيب الضوئي وتكوين الكلوروفيل.

2 . له دور مهم في تكوين الكربوهيدرات ونقل السكريات داخل النبات.

3 . له دور مهم في ميكانيكية فتح وغلق الثغور وتنظيم المحتوى المائي للخلية النباتية

4 . يساعد في مقاومة النبات لدرجات الحرارة المنخفضة.

5 . يلعب دور في اختزال النترات وتكوين البروتين.

6 – ضروري وعامل مساعد لتحفيز عدد كبير من الأنزيمات مثل

Starch Synthetase, Pyruvate Kinase

أعراض نقص البوتاسيوم على النبات

1 . ضعف نمو النبات بشكل عام حيث تكون الأوراق صغيره والسيقان قصيره وقلة الإنتاج ورداءته حيث أن الثمار تفقد لونها المميز و تكون غير متجانسه في نضجها

2 . اسمرار داكن على حواف الأوراق (احتراق الحواف) يمتد إلى الوسط ثم يصبح لون الحواف بنيا.

3 . التفاف حواف الأوراق إلى الأعلى والأسفل بسبب عم نمو الخلايا بشكل متساوي

4 . تظهر أعراض النقص على الأوراق القديمة أولا ومن ثم تنتقل إلى الأجزاء الأخرى وذلك لان البوتاسيوم عنصر متحرك داخل النبات ينتقل من الأوراق القديمة إلى الأوراق الحديثة.

تقدير البوتاسيوم في العينات النباتية

يتم تقدير البوتاسيوم في المستخلص الحامضي للعينه النباتية مباشرة باستخدام جهاز قياس العناصر باللهب Flame photometer

يتكون الجهاز بشكل عام من الوحدات الرئيسية التالية:

1 . وحدة اللهب – مصدر طاقه لتوليد حراره عالية كافيه لتهييج الإلكترونات.

2 – ضاغطة هواء compressor لتحويل المستخلص إلى رذاذ.

3 . وحدة الترشيح – موشور أو فلتر خاص بكل عنصر – لتعيين طول موجة الضوء الخاص بالأشعة الصادرة عن عنصر معين.

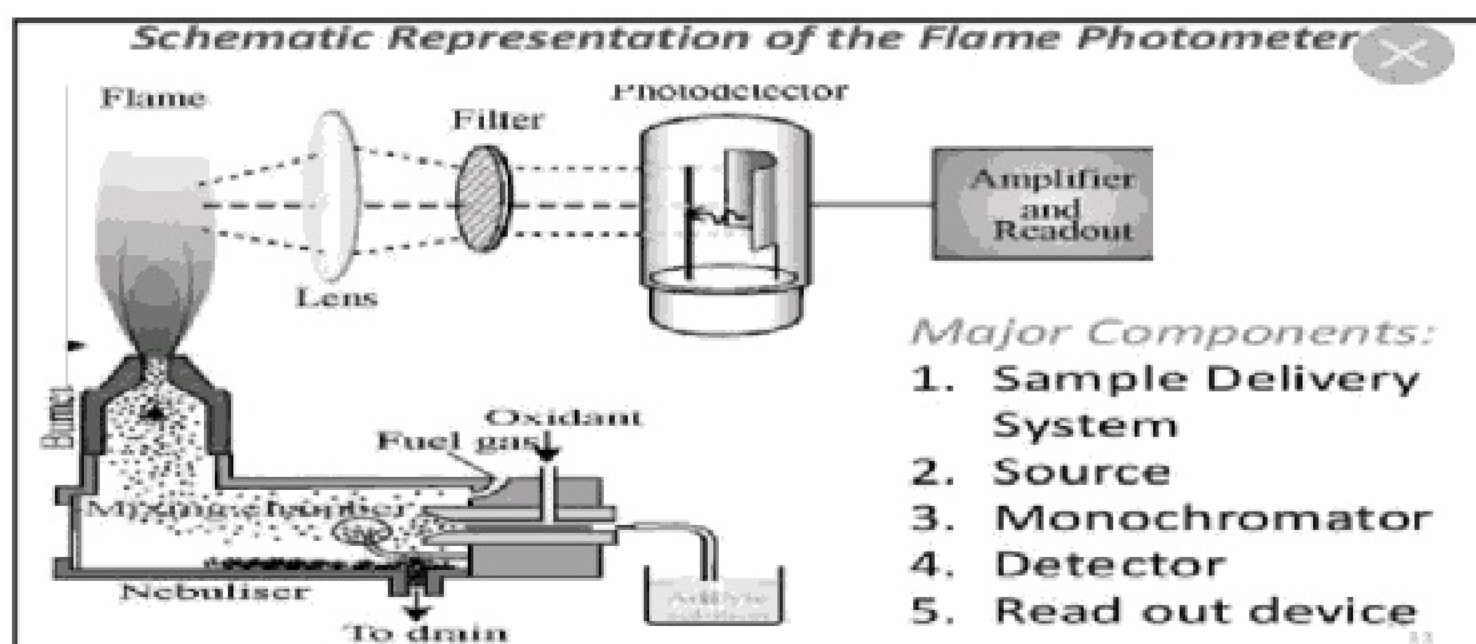
4 . وحدة الخلية الضوئية – لتحويل الأشعة الكهرومغناطيسية إلى تيار كهربائي.

5– وحدة تقوية التيار amplifier.

6 . وحدة القياس –كجلفانوميتر – لقياس التيار الكهربائي.

الفكرة الرئيسية لعمل الجهاز

العناصر المعدنية وخاصة القلوية منها عندما تتعرض إلى مصدر طاقه كافيه لتهييج الإلكترونات الموجودة في المدارات الخارجية لذرات هذه العناصر فان هذه الإلكترونات تمتص هذه الطاقة وتزداد طاقتها الحركية فتنتقل إلى مدارات اكثر بعدا عن النواة أي إلى مستويات اعلى من الطاقة Higher Energy Levels، وعند ابتعادها عن مصدر التغذية بالطاقة فإنها تعود إلى مداراتها الأصلية وتفقد الطاقة التي اكتسبتها على شكل أشعه كهرومغناطيسية، عدد الإلكترونات وتوزيعها في المدارات الخارجية يختلف من عنصر لأخر فان طول موجة الضوء أو الأشعة الصادرة تكون مميزه للعنصر، لكل عنصر لون خاص باللهب اعتمادا على طوله الموجي، شدة الأشعة المرسلة من عنصر معين تتوقف على تركيز ذرات هذا العنصر في المحلول فان قياس شدة الأشعة تكون بمثابة قياس كمي للعنصر.



طريقة العمل

1 – تحضير محاليل قياسيه للبوتاسيوم:

يتم تحضير محلول قياسي اصلي للبوتاسيوم Stock Solution بتركيز 1000 ppm من أي ملح للبوتاسيوم (معروف التركيب، نقي، سهل الذوبان، غير متميع) مثل ملح KCl وذلك اعتمادا على الأوزان الذرية:

KCl غم	K غم
74.5	39
x	1

X = 1.906 غم يوزن من ملح KCl الجاف (يجفف الملح قبل الوزن على درجة 60 مئوي لمدة ساعه ثم يبرد في مجفف) ويوضع في دورق حجمي لتر ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر.

من المحلول القياسي الأصلي السابق (1000 ppm) يتم تحضير المحاليل القياسية:

10 ppm , 20 ppm, 30 ppm , 40 ppm, 50 ppm

في دوارق حجميه 100 مل وذلك بتطبيق القانون:

$$\text{الحجم المسحوب (مل) من المحلول الأصلي} = \frac{\text{التركيز المطلوب} \times \text{الحجم المطلوب}}{\text{التركيز الأصلي}}$$

لتحضير محلول قياسي 10 ppm في دورق 100 مل من المحلول القياسي الأصلي 1000 ppm

$$\frac{10 \times 100}{1000} = 1$$ مل يسحب من المحلول الأصلي ويوضع في

دورق حجمي 100 مل ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر، وهكذا بالنسبة لبقية التراكيز، إذن الأحجام المطلوب سحبها من المحلول الأصلي لتحضير التراكيز السابقة هي على التوالي:

1, 2, 3, 4, 5 مل

يوضع كل حجم من الحجوم السابقة في دورق حجمي 100 مل ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر

2 . بعد الانتهاء من تحضير المحاليل القياسية نقوم بقراءتها بجهاز قياس العناصر باللهب، جهاز الـ Flame photometer

3 – يرسم منحنى قياسي يوضح العلاقة بين تراكيز المحاليل القياسية وقراءة الجهاز لهذه المحاليل

4 – يؤخذ المستخلص الحامضي للعينه النباتية (سواء المحضر بطريقة الحرق الجاف أو الحرق الرطب) ويقرأ بجهاز قياس العناصر باللهب.

5 . يتم تسقيط قراءة الجهاز لمستخلص العينة النباتية على المنحنى القياسي للحصول على (ppm بعد التسقيط)

الحسابات:

$$\% K = \frac{\text{ppm بعد التسقيط}}{1000} \times \frac{\text{حجم المستخلص الكلي}}{1000} \times \frac{100}{\text{وزن العينة الجاف}}$$

في حالة إجراء تخفيف لمستخلص العينة النباتية يضرب الناتج بعدد مرات التخفيف الذي يمكن حسابه من العلاقة التالية:

$$\text{عدد مرات التخفيف} = \frac{\text{مل مستخلص نباتي} + \text{مل ما مقطر}}{\text{مل مستخلص نباتي}}$$

مثلا عند سحب 2 مل من المستخلص النباتي وإضافة 18 مل ماء مقطر يكون عدد مرات التخفيف:

$$\text{عدد مرات التخفيف} = \frac{18 + 2}{2} = 10$$

ملحوظة:

1 . جهاز الـ Flame photometer يقيس عناصر الليثيوم Li، الكالسيوم Ca، الصوديوم Na ، البوتاسيوم K لذلك عند القياس يجب التأكد من استخدام المرشح (الفلتر) الخاص بكل عنصر للتأكد من أن لون الضوء المميز للعنصر هو فقط المؤثر على الخلية الضوئية.

2 . يجب الحصول على لهب ازرق قبل البدء بقراءة العينات كما يجب المحافظة على مستوى ثابت لضغط الهواء وغاز الاحتراق أثناء عملية التقدير.

3 . يمكن تقدير عنصر الصوديوم في العينة النباتية بنفس الطريقة السابقة وفي هذه الحالة يستخدم ملح يحتوي على الصوديوم مثل NaCl بدلا من KCl.

4 – تمتاز طريقة القياس باللهب بعدم الحاجه إلى دلائل كيميائية كما هو الحال بالأجهزة الفوتوكهربائيه.

استخلاص البوتاسيوم والصوديوم من العينة النباتية

أحيانا يتطلب العمل تقدير كل من البوتاسيوم والصوديوم فقط في العينة النباتية، وفي هذه الحالة يمكن إجراء استخلاص لهذين العنصرين من العينة دون الحاجه إلى هضم العينة النباتية ويتم ذلك باستخدام محلول خلات الأمونيوم المتعادلة تركيز 1 عياري.

طريقة العمل:

1 – يوزن 1 غم عينه نباتيه جافه ومطحونة وتوضع في دورق تفاعل.

2 . يضاف 40 مل من محلول خلات الأمونيوم 1 عياري ثم يرج الدورق في جهاز رجاج نصف ساعه.

3 – يرشح ويستقبل الراشح في دورق حجمي 100 مل مع غسل الدورق عدة مرات بمحلول خلات الأمونيوم حتى الوصول إلى العلامة.

4 – يستخدم جهاز الـ Flame photometer لحساب تركيز Na، K بوجود المحاليل القياسية الخاصة بكل عنصر بنفس الطريقة السابقة.

مثال:

عينه نباتيه جافه وزنها 0.5 غم هضمت واكمل الحجم النهائي إلى 100 مل، قدر البوتاسيوم في العينة فكان ppm من المنحنى (بعد التسقيط) 5 فاذا علمت أن العينة قد تم تخفيفها بأخذ 5 مل مع 20 مل ماء مقطر احسب نسبة البوتاسيوم بالنبات بوحدات:

1 . نسبه مئوية%　　　　2 . ملغم/كغم　　　　3 . غم/كغم

الحل:

$$\text{عدد مرات التخفيف} = \frac{\text{مل مستخلص نباتي} + \text{مل ما مقطر}}{\text{مل مستخلص نباتي}}$$

$$5 = \frac{20 + 5}{5} =$$

$$\% K = \frac{\text{ppm بعد التسقيط}}{1000} \times \frac{\text{حجم المستخلص الكلي}}{1000} \times \frac{100}{\text{وزن العينة الجاف}} \times \text{عدد مرات التخفيف}$$

$$\% K = \frac{5}{1000} \times \frac{100}{1000} \times \frac{100}{0.5} \times 5$$

$$\% K = 0.5$$

2 . ملغم/كغم = ppm

$$Ppm = \text{النسبة المئوية}\ \% \times 10000$$

$$= 0.5 \times 10000 = 5000$$

3 . غم/ كغم

نسبة K هي 0.5 %

أي 0.5 غم K لكل 100 غم نبات

K غم	وزن النبات غم
0.5	100
X	1000

X = 5 غم/ كغم

00:29:17

مثال:

حضر محلول قياسي للبوتاسيوم من ملح KCl بتركيز 50 ppm في دورق حجمي 100 مل، علما إن الأوزان الذرية: Cl: 35.5 K: 39

الحل: 1 ppm = 1 mg/ L

50 ppm = 50mg/L

mg	ml
50	1000
x	100

X = 5

=5mg/ 100ml

5mg =0.005 g

KClغم	K غم
74.5	39
x	0.005

X= 0.0095 غم يوزن من الملح ويوضع في دورق 100 مل ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر

مثال: تم تحضير محلول قياسي للبوتاسيوم وذلك بإذابة 0.223 غم من ملح K_2SO_4 في دورق حجمي لتر، احسب تركيز البوتاسيوم في هذا المحلول ؟

الحل:

غم K_2SO_4	غم 2K
174	78
x	1

X = 2.23 غم من K_2SO_4 للحصول على 1000 ppm بوتاسيوم

غم ملح K_2SO_4	ppm
2.23	1000
0.223	x

X = 100 جزء بالمليون تركيز البوتاسيوم في المحلول.

أو يحل بطريقه أخرى:

غم K_2SO_4	غم 2K
174	78
0.223	x

X = 0.0999 غم بوتاسيوم

$0.0999 \times 1000 = 99.9$ ويساوي تقريبا $100 = 100$ جزء بالمليون تركيز البوتاسيوم.

واجب بيتي

س/ تم تحضير محلول قياسي للبوتاسيوم من ملح K_2SO_4 في دورق حجمي لتر ثم حضر من هذا المحلول محلول قياسي ثاني بتركيز 0.5 ppm و ذلك بسحب 1 مل من المحلول الأول ووضعه في دورق حجمي 100 مل واكمل الحجم إلى العلامة بالماء المقطر، احسب كمية الملح المستخدمة لتحضير المحلول القياسي الأول.

س/ تم تحضير محلول قياسي للبوتاسيوم وذلك بإذابة 0.0557 غم من ملح K_2SO_4 في ربع لتر ماء مقطر، احسب تركيز البوتاسيوم في هذا المحلول.

00:29:21

الدرس العملي السابع

تقدير الكالسيوم والمغنيسيوم

الأهمية الفسيولوجية للكالسيوم

يعتبر عنصر الكالسيوم من العناصر الغذائية الضرورية الكبرى التي يحتاجها النبات ويمتص النبات هذا العنصر على شكل أيونات كالسيوم Ca^{+2} وتتراوح نسبته في المادة النباتية الجافه من 3 - 0.5 % وذلك اعتمادا على عمر النبات (محتوى النبات من الكالسيوم يزداد بازدياد عمر النبات) ونوع النبات (فمثلا النباتات ذوات الفلقتين تحتوي على كميه اعلى من الكالسيوم مقارنة بنباتات ذوات الفلقة الواحدة) والجزء النباتي المأخوذ للتقدير (الجذور بشكل عام ذات محتوى اعلى من الكالسيوم من الأجزاء العليا)، يلعب الكالسيوم دور مهم في حياة النبات من خلال دخوله في كثير من العمليات الحيوية التي يقوم بها النبات والتي يمكن إيجازها بما يلي:

1 . يدخل في تركيب الجدار الخلوي على شكل بكتات كالسيوم calcium pectate وهو بذلك يعمل على تماسك جدران الخلايا مع بعضها، لهذا يلعب الكالسيوم دور مهم في انقسام ونمو الخلايا

2 . يدخل في تركيب الأغشية الخلوية مما يعطي الكالسيوم دورا مهما في التحكم في دخول وخروج المواد من وإلى الخلية، نقص الكالسيوم يزيد من نفاذية الأغشية فتصبح اكثر نضوحا.

3 . له دور مهم في تثبيت النتروجين الجوي(بواسطة النباتات البقولية) وتكوين العقد الجذرية.

4 . يزيد الكالسيوم من امتصاص النترات مما يؤدي إلى زيادة البروتين في النبات.

5 . للكالسيوم دور مهم في انتقال الكربوهيدرات داخل النبات.

6 . يلعب دور العامل المساعد والمحفز لعدد من الأنزيمات.

أعراض نقص الكالسيوم على النبات

1. تظهر أعراض نقص الكالسيوم على الأوراق النامية الحديثة ونهايات النبات حيث ان الكالسيوم من العناصر غير المتحركة داخل النبات.

2 . تتلون الأوراق الحديثة باللون الأخضر المصفر مع ظهور بقع ميته وحافات الوراق تلتف أو تتموج بسبب عدم انتظام نمو الخلايا.

00:29:24

3 . يكون النبات قزم ومتخشب وذلك لأهمية الكالسيوم في انقسام ونمو الأنسجة المرستيميه في البراعم والقمه النامية للساق والجذر والأوراق.

4 . يسبب نقص الكالسيوم ظهور وانتشار بعض الأمراض الفسيولوجية على النبات.

الأهمية الفسيولوجية للمغنيسيوم

يعتبر عنصر المغنيسيوم من العناصر الغذائية الضرورية الكبرى التي يحتاجها النبات ويمتص النبات هذا العنصر على شكل أيونات مغنيسيوم Mg^{+2} وبكميات اقل مما هي عليه في حالة البوتاسيوم أو الكالسيوم وبشكل عام فان معدل محتوى المادة النباتية الجافه من المغنيسيوم 0.5 %، يؤدي المغنيسيوم دورا كبيرا في العديد من العمليات الحيوية التي تجري داخل النبات والتي يمكن إيجازها بالنقاط التالية:

1 . يدخل في تركيب الكلوروفيل حيث يشكل 2.7% من وزن جزيئة الكلوروفيل ولهذا فانه يلعب دور مهم في عملية التركيب الضوئي التي تصبح مستحيلة في حال غياب الكلوروفيل.

2 . يشترك في حركة ونقل الفسفور داخل النبات.

3 . يعتبر مساعد و منشط للعديد من الأنزيمات التي تشارك في تفاعلات الفسفور والكربوهيدرات.

4 . يلعب دور في تكوين السكريات وتوزيع النشا داخل النبات.

5 . ضروري في تكوين البروتين حيث يقوم بربط وحدات الرايبوسوم مع بعضها.

أعراض نقص المغنيسيوم على النبات

1 . يعتبر المغنيسيوم من العناصر المتحركة داخل النبات فينتقل من الأجزاء القديمة إلى الأجزاء والنموات الحديثة لهذا فان أعراض نقصه تظهر أولا على الأوراق القديمة.

2 . تقص المغنيسيوم يؤدي إلى قلة الكلوروفيل الذي يظهر على شكل بقع ذات لون اخضر فاتح تتحد مع بعضها لتكون اشرطه صفراء بين عروق الورقة بينما تبقى العروق خضراء اللون.

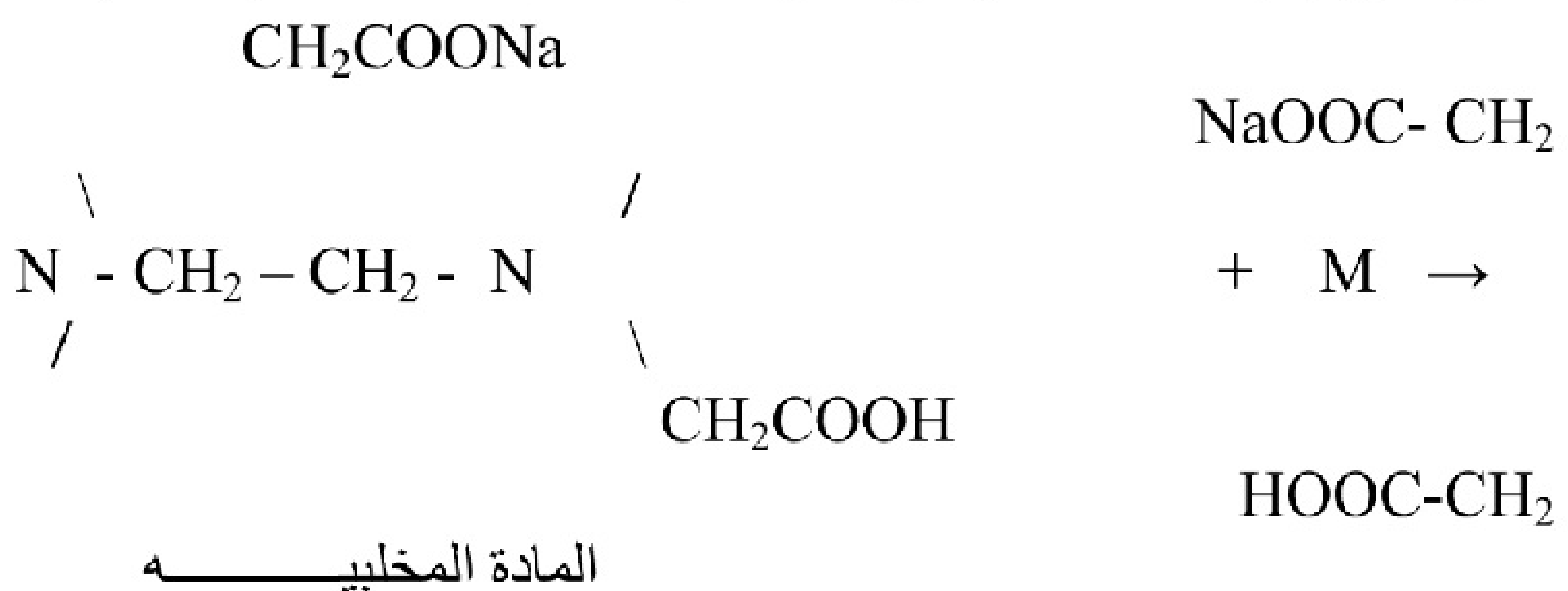
3. بعد ذلك يغطي اللون الأصفر جميع سطح الورقة ماعدا القمه والقاعدة.

4 . مع استمرار النقص يتحول اللون الأصفر إلى بني غامق ثم تبدا الأوراق بالسقوط من اسفل إلى اعلى.

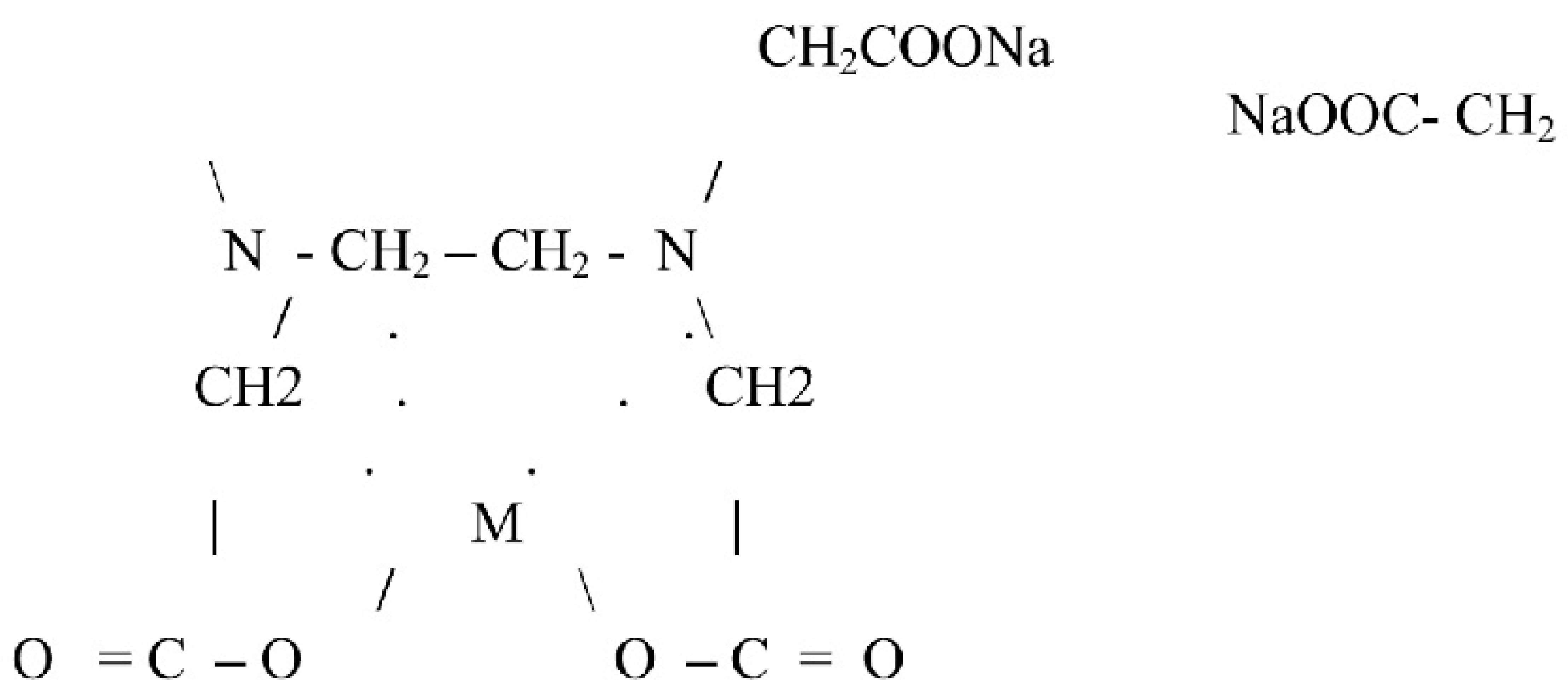
تقدير الكالسيوم والمغنيسيوم في العينات النباتية

يتم تقدير الكالسيوم والمغنيسيوم في العينات النباتية بطريقة الخلب باستخدام المواد المخلبيه chelating agent وهي مواد عضويه انيوناتها لها القدرة على الارتباط مع بعض العناصر مكونه مركب حلقي والعنصر الذي يرتبط بهذا التركيب الحلقي (الذي يخلب) يفقد سيطرته على تفاعلاته الكيميائية أي

يترسب داخل التركيب الحلقي. يوجد العديد من المواد المخلبيه ولكن يستخدم في تقدير كل من الكالسيوم والمغنيسيوم المادة المخلبيه EDTA (Ethylene Diamine Tetra Acetic acid) والتي تسمى بالفرسين التي تكون مواد مخلبيه مع عدد من الكاتيونات الثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم والمغنيسيوم. تتلخص الفكرة الأساسية للتقدير بإجراء عملية التسحيح مع المادة المخلبيه (الفرسين) فيتكون مركب مخلبي بين العنصر المراد تقديره وبين المادة المخلبيه، ويتم التعرف على نقطة نهاية التفاعل (نهاية عملية الخلب) باستخدام ادله حساسة تظهر الوان مختلفة بحيث يكون لها لون مميز عند ارتباطها بالعنصر المعدني وعندما تكون بصوره حره (بدون ارتباط) يكون لها لون آخر، حيث يقدر الكالسيوم أولا ثم يقدر(الكالسيوم + المغنيسيوم) وبطرح الأول من الثاني نحصل على المغنيسيوم، ويفضل استخدام فرسين ثنائي الصوديوم EDTA- disodium salt لا نه مركب سهل التنقية وغير هيكروسكوبي والمركبات المخلبيه التي يكونها تكون اكثر ثباتا. عملية الخلب تتم كما في المعادلة



المادة المخلبيـــــــــــه



00:29:30

M: كاتيون لعنصر معدني مثل الكالسيوم أو المغنيسيوم

تقدير الكالسيوم

عند تقدير الكالسيوم نقوم برفع درجة تفاعل المستخلص النباتي (الـ pH) إلى 12 بإضافة هيدروكسيد الصوديوم (4) عياري حيث تترسب أيونات المغنيسيوم على صورة هيدروكسيد المغنيسيوم وتبقى أيونات الكالسيوم في المحلول، ويستخدم في التقدير دليل بربرات الأمونيوم (الميروكسيد) الذي له ميل التحادي مع الكالسيوم أكثر من الميل الاتحادي مع المغنيسيوم خصوصا عند pH (12) حيث يصبح هذا الدليل متخصص تماما للكالسيوم فقط، وعند المعايرة مع الفرسين، يقوم الفرسين بخلب الكالسيوم تدريجيا حتى ينتهي من المحلول حيث يتغير لون المحلول من اللون الوردي (Ca + دليل الميروكسيد) إلى اللون البنفسجي (لون الدليل لوحده).

المواد المستخدمة

1 – هيدروكسيد الصوديوم (4 N)عياري: يحضر بإذابة 160 غم من NaOH في لترماء مقطر.

2 – دليل بربرات الأمونيوم (الميروكسيد): يحضر بخلط 0.5 غم من بربرات الأمونيوم مع 100 غم من كبريتات البوتاسيوم.

3 – محلول الفرسين EDTA (0.01) يحضر بإذابة 2 غم من الفرسين ثنائي الصوديوم مع 0.05 غم من كلوريد المغنيسيوم $MgCl_2.6H_2O$ في دورق حجمي لتر ثم نكمل إلى العلامة بالماء المقطر.

طريقة العمل

1 – يسحب بواسطة الماصة (2) مل من المستخلص الحامضي للعينه النباتية وتوضع في جفنه من الخزف الصيني وتخفف بإضافة (10) مل من الماء المقطر.

2 – يرفع الـ pH إلى 12 بإضافة هيدروكسيد الصوديوم 4 ع بالاستعانة بجهاز الـ pH meter أو ورق زهرة الشمس.

3 – يضاف حوالي 50 ملغم من دليل الميروكسيد.

4 – يسحح مع الفرسين (0.01) ع إلى ان يتغير اللون من الوردي إلى البنفسجي – يسجل حجم الفرسين المستهلك من السحاحة.

الحسابات

حجم الفرسين × عيارية الفرسين = مليمكافئات الفرسين = مليمكافئات الكالسيوم

مليمكافئات الكالسيوم × الوزن المكافئ للكالسيوم (20)= ملغم كالسيوم

$$\% Ca = \frac{\text{حجم الفرسين} \times \text{عيارية الفرسين} \times 20}{1000} \times \frac{\text{حجم المستخلص الكلي}}{\text{حجم المستخلص المستخدم}} \times \frac{100}{\text{وزن العينة}}$$

تقدير(الكالسيوم + المغنيسيوم) (Ca + Mg)

عند تقدير(الكالسيوم + المغنيسيوم) يضبط الـ pH عند 10 وذلك باستخدام المحلول المنظم (Buffer Solution) حيث يكون كل من الكالسيوم والمغنيسيوم بشكل أيونات في المستخلص وهنا يستخدم دليل اسود الايرو كروم (الـ E.B.T) Erio chrome black T الذي له ميل التحادي مع الكالسيوم والمغنيسيوم معا عند هذا الـ pH، وعند المعايرة مع الفرسين يقوم الفرسين بخلب الكالسيوم + المغنيسيوم ويستدل على نهاية عملية الخلب (انتهاء عملية التسحيح) بتغير لون المحلول من اللون القرمزي إلى اللون الأزرق.

المواد المستخدمة

1 – المحلول المنظم: $NH_4OH + NH_4Cl$

يذوب (67.5) غم من NH_4Cl في (570) مل من NH_4OH مركز ثم يخفف إلى لتر بالماء المقطر.

2 – دليل (الـ E.B.T) اسود الايرو كروم: يحضر بإضافة (0.5) غم من الدليل إلى (4.5) غم من Hydroxyl amine hydro chloride ثم الإذابة في (100) مل من كحول الإيثانول 95%.

3 – محلول الفرسين (0.01)ع كما حضر سابقا.

طريقة العمل

1 – يسحب بواسطة الماصة (2) مل من المستخلص الحامضي للعينه النباتية وتوضع في جفنه من الخزف الصيني وتخفف بإضافة (10) مل من الماء المقطر.

2 – يرفع الـ pH إلى10 بإضافة المحلول المنظم بالاستعانة بجهاز الـ pH meter أو ورق زهرة الشمس.

3 – يضاف حوالي (3-4) قطرات من دليل (الـ E.B.T).

4 – يسحح مع الفرسين (0.01) ع إلى ان يتغير اللون من القرمزي إلى الأزرق – يسجل حجم الفرسين المستهلك من السحاحة.

الحسابات:

حجم الفرسين × عيارية الفرسين = مليمكافئات الفرسين = مليمكافئات (الكالسيوم + المغنيسيوم)

مليمكافئات المغنيسيوم = مليمكافئات (الكالسيوم + المغنيسيوم) – مليمكافئات الكالسيوم

= (حجم الفرسين في حالة Ca+Mg×عياريته)– (حجم الفرسين في حالة Ca × عياريته)

$$\% Mg = \frac{\text{مليمكافئات المغنيسيوم} \times \text{الوزن المكافئ } Mg}{1000} \times \frac{\text{حجم المستخلص الكلي}}{\text{حجم المستخلص المستخدم}} \times \frac{100}{\text{وزن العينة}}$$

الوزن المكافئ لـ Mg = 12

ملاحظه: وجود (Fe, Mn, Al) بتركيز اكثر من 0.3 – 4 ppm يحدث تداخل مع دليل E.B.Tلذلك قد يضاف 2 مل من سيانوز الصوديوم 2% إلى المستخلص المراد تقدير (الكالسيوم + المغنيسيوم) فيه لغرض ترسيب العناصر المعدنية الثقيلة.

مثال: عينه نباتيه وزنها (0.5) غم هضمت واكمل الحجم النهائي إلى(100) مل، اخذ منها (2) لتقدير الكالسيوم و(2) مل لتقدير (الكالسيوم + المغنيسيوم) فكان حجم الفرسين (0.01 ع) اللازم للمعايرة (1) مل للكالسيوم و (1.5) مل لـ (الكالسيوم + المغنيسيوم)، احسب النسبة المئوية لكل من الكالسيوم والمغنيسيوم في العينة.

الحل:

$$\% Ca = \frac{\text{حجم الفرسين} \times \text{عيارية الفرسين} \times 20}{1000} \times \frac{\text{حجم المستخلص الكلي}}{\text{حجم المستخلص المستخدم}} \times \frac{100}{\text{وزن العينة}}$$

$$\% Ca = \frac{20 \times 0.01 \times 1}{1000} \times \frac{100}{2} \times \frac{100}{0.5}$$

$$\% Ca = \% 2$$

مليمكافئات المغنيسيوم = مليمكافئات (الكالسيوم + المغنيسيوم) – مليمكافئات الكالسيوم

مليمكافئات المغنيسيوم $= 1.5 \times 0.01 - (1 \times 0.01) = 0.005$

$$\% Mg = \frac{\text{مليمكافئات المغنيسيوم} \times \text{الوزن المكافئ } Mg}{1000} \times \frac{\text{حجم المستخلص الكلي}}{\text{حجم المستخلص المستخدم}} \times \frac{100}{\text{وزن العينة}}$$

$$\% Mg = \frac{12 \times 0.005}{1000} \times \frac{100}{2} \times \frac{100}{0.5}$$

$$= \% 0.6$$

س/ احسب نسبة المغنيسيوم في عينه نباتيه وزنها الجاف 0.5غم ونسبة الكالسيوم فيها 2% علما ان حجم الفرسين (0.01 ع) عند تقدير (Ca+ Mg) كان2 مل وحجم المستخلص المستخدم لكل من Ca و (Ca+Mg) هو 2 مل وحجم المستخلص الكلي 100

الدرس العملي الثامن

تقدير الكبريت والكلوريد

الأهمية الفسيولوجية للكبريت

يعتبر عنصر الكبريت من العناصر الغذائية الضرورية الكبرى التي يحتاجها النبات ويمتص النبات هذا العنصر امتصاص حيوي عن طريق الجذور على شكل أيون الكبريتات SO_4^{-2} كميه قليله منه تدخل إلى النبات عن طريق الأوراق على شكل غاز ثاني أوكسيد الكبريت SO_2 وتتراوح نسبة الكبريت في المادة النباتية الجافه بشكل عام بين 0.5- 0.2 %،ويلعب الكبريت دور مهم في حياة النبات حيث نقص هذا العنصر يعيق النبات من القيام بفعالياته الحيوية بشكل طبيعي مما يؤثر سلبا في نمو النبات وإنتاجيته، ويمكن تلخيص دور الكبريت وأهميته من خلال النقاط التالية:

1 – يدخل في تركيب البروتينات من خلال دخوله في تركيب بعض الأحماض الأمينية مثل cysteine و methionine.

2 – يدخل في تركيب بعض مرافقات الأنزيمات مثل coenzyme A (الذي يشترك في عملية التنفس) وبعض الفيتامينات مثل Biotin .

3 – للكبريت دور في عملية تصنيع الكلوروفيل إلا انه لا يدخل في تركيبه.

4 – يدخل في تركيب بعض الزيوت المسؤولة عن بعض الصفات كرائحة البصل والثوم والفجل

5 – يدخل في تركيب أنزيم الـ nitrogenase المسؤول عن تثبيت النتروجين في البقوليات.

أعراض نقص الكبريت على النبات

1 – تظهر أعراض نقص الكبريت في البداية على الأوراق والأجزاء القديمة فتتلون هذه الأجزاء باللون الأصفر الفاتح ثم الداكن وفي المراحل المتقدمة من النقص يغطي الاصفرار كل النبات.

2 – تظهر أعراض النقص أولا على الأوراق القديمة من النبات وذلك لان الكبريت عنصر متحرك حيث ينتقل من الأجزاء القديمة إلى النموات الحديثة فتظهر أعراض نقصه على الأجزاء القديمة.

3 – ضعف نمو النبات بشكل عام حيث تكون الأوراق صغيره والسيقان ضعيفة والنباتات تبدو صلبه ولكنها سهلة الكسر.

00:30:18

4 – أعراض نقص الكبريت تشابه أعراض نقص النتروجين إلا أن النتروجين اسرع حركة داخل النبات من الكبريت لهذا تظهر أعراض نقصه قبل الكبريت.

تقدير الكبريت في العينات النباتية

يمكن تقدير الكبريت الكلي في العينات النباتية بعدة طرق، والطريقة السائدة هي باستخدام الهضم الرطب wet ashing ثم يقدر الكبريت باستخدام طريقة العكارة.

بعد الهضم الرطب للعينات النباتية فان جميع الكبريت يصبح على صورة كبريتات SO_4 وهذه الكبريتات عند معاملتها مع كلوريد الباريوم $BaCl_2$ تترسب على شكل كبريتات الباريوم البيضاء $BaSO_4$ وهذه تجهز العكارة للمحلول والتي تتناسب مع كمية الكبريتات الموجودة في العينة، تقرأ الامتصاصية للمحلول على جهاز الـ spectrophotometer عند طول موجي 420 نانوميتر، ان عملية ترسيب كبريتات الباريوم وتكوين العكارة هي عمليه حساسة ومن ثم من الضروري تهيأت الظروف الملائمة حيث ان كبريتات الباريوم تميل إلى الترسيب اذا لم يكن المحلول حامضيا لهذا السبب يجب إضافة محلول ملحي منظم لتنظيم pH المحلول، معدل الترسيب يسيطر عليه عن طريق إضافة $BaCl_2$ النقي ذي البلورات الناعمة كما يضاف صمغ الاكاسيا Gum acacia للمساعدة في ثباتيه العكارة.

المواد المستخدمة

1 – كلوريد الباريوم $BaCl_2.2H_2O$

ذي بلورات 20– 60 mesh (تمر بلوراته من خلال منخل 20mesh بينما يحتفظ بها منخل 60 mesh.

2 – محلول صمغ اكاسيا Gum acacia

إذابة 0.5 غم من مسحوق Gum acacia في مزيج يحتوي 50 مل حامض الخليك الجليدي glacial acetic acid و 50 مل ماء مقطر – يحفظ المحلول في ثلاجه لتجنب نمو الأحياء الدقيقة.

3 – محلول ملحي منظم salt buffer solution

يحتوي على 50 غم $MgCl_2.6H_2O$ و 4.1 غم KNO_3 و 28مل إيثانول/ لتر.

4 – حامض HCl 6N

5 – محلول قياسي للكبريت 100 ppm

7 – لتقدير الكبريت في العينة النباتية - يسحب 10مل من المستخلص النباتي (مستخلص الهضم) ثم تطبق عليه الخطوات السابقة الخاصة بتحضير المحاليل القياسية.

8 – يتم تسقيط قراءة الجهاز لعينة المستخلص النباتي على المنحنى القياسي للحصول على تركيز الكبريت بوحدة ملغم/لتر (ppm بعد التسقيط).

الحسابات

$$\%\,S = \frac{ppm}{1000} \times \frac{\text{حجم الدورق المستخدم}}{1000} \times \frac{\text{حجم المستخلص الكلي}}{\text{حجم المستخلص المستخدم}} \times \frac{100}{\text{وزن العينة}}$$

مثال: عينه نباتيه وزنها الجاف 1غم هضمت واكمل الحجم النهائي إلى 100مل، اخذ منها 1مل لتقدير الكبريت حيث وضعت في دورق حجمي 100 مل، فاذا علمت أن ppm بعد التسقيط من المنحنى كانت 0.25 احسب تركيز الكبريت في العينة بوحدات:

1 – نسبه مئوية 2– ppm

الحل:

(1) %

$$\%\,S = \frac{ppm}{1000} \times \frac{\text{حجم الدورق المستخدم للتقدير}}{1000} \times \frac{\text{حجم المستخلص الكلي}}{\text{حجم المستخلص المستخدم}} \times \frac{100}{\text{وزن العينة}}$$

$$\%\,S = \frac{0.25}{1000} \times \frac{100}{1000} \times \frac{100}{1} \times \frac{100}{1}$$

$= 0.25$

(2) ppm

$ppm = \% \times 10000$

$250 = 0.25 \times 10000$

الأهمية الفسيولوجية للكلوريد

يمتص النبات الكلور من التربة على صورة أيون الكلوريد Cl^- وان الحد الحرج للكلوريد في المادة الجافه للنبات بشكل عام هو (100 – 70) جزء بالمليون، ويتواجد الكلوريد غالبا داخل النبات بصورة أملاح معدنيه دون أن يشترك في التراكيب العضوية للخلايا.

1 – إن احدى وظائف الكلور الرئيسية هي تحفيزه لأنزيمات التركيب الضوئي التي تساعد في تحلل الماء ضوئيا (photolysis).

2 – يؤثر الكلوريد في الضغط الازموزى للخلية النباتية وله دور في التوازن الأيوني وهذا يعود إلى حركته العالية حيث يقوم بعمل الأيون الذي يعوض عن تدفق البوتاسيوم ويحافظ على التوازن الأيوني.

3 – يؤثر بشكل غير مباشر في النظام بالثغور للخلايا الحارسة حيث ان عدم وجود الكلوريد يوقف فتح الثغور.

أعراض نقص الكلوريد على النبات

اهم أعراض نقص الكلوريد على النبات هو ظهور اللون الأصفر على الأوراق الحديثة وربما تصبح منخوره ثم يتبع ذلك ذبول عام على النبات بالإضافة إلى نقص الحاصل ورداءة نوعيته.

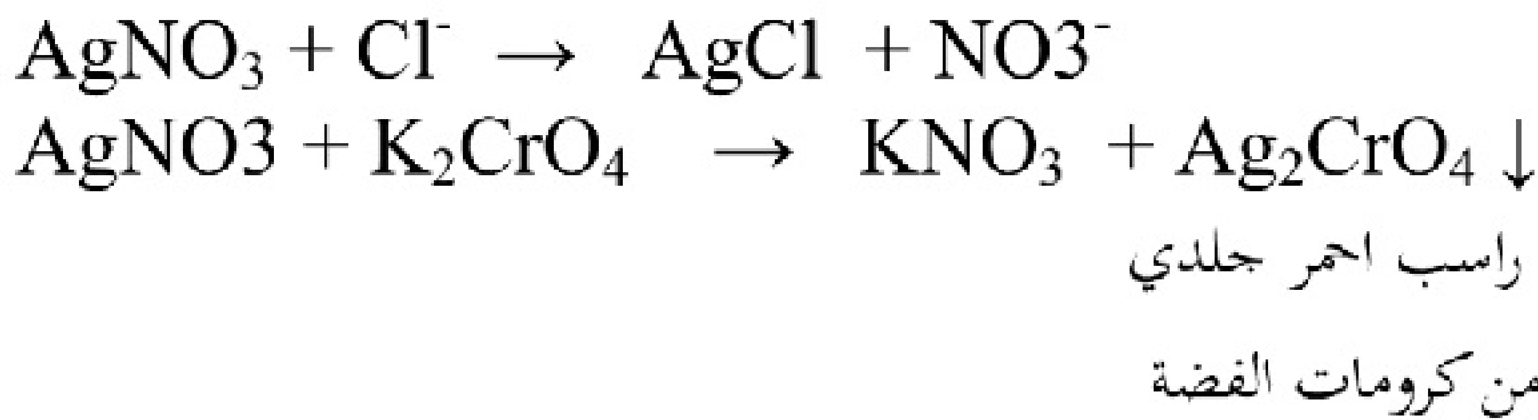
من الناحية التطبيقية فان النباتات نادرا ماتعاني من نقص الكلوريد وذلك لان ما موجود من كلوريد في الهواء الجوي هو اكثر من حاجة النبات، ويتم تقدير الكلوريد في العينات النباتية بسبب المشاكل الناجمة عن ارتفاع تركيزه في التربة حيث المحاصيل النامية في الترب المتأثرة بالأملاح تظهر عليها أعراض سمية الكلوريد وهي احتراق حافات الأوراق وتلونها باللون البرونزي والأصفر قبل اكتمال نموها ثم سقوط هذه الأوراق.

الفكرة الأساسية لتقدير الكلوريد في العينات النباتية

أ– طريقة الحرق الجاف

بسبب درجات الحرارة العالية المستخدمة أثناء الحرق الجاف للعينه النباتية فان هناك احتمال لتطاير الكلوريد من العينة، لهذا فانه عند تقدير الكلوريد في العينة النباتية فان عملية الحرق الجاف تجرى في وسط قاعدي لمنع تطاير الكلوريد ويتم بذلك بخلط العينة النباتية مع أوكسيد الكالسيوم CaO قبل الحرق، وبعد إكمال عملية الحرق يستخلص الكلوريد من الرماد باستخدام الماء الحار ثم يضبط الـ pH عند (6 – 7) باستخدام حامض الخليك وأخيرا يقدر عن طريق المعايرة مع نترات الفضة $AgNO_3$ وبوجود

دليل كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4 حيث يتكون راسب احمر جلدي من كرومات الفضة Ag_2CrO_4:



$$AgNO_3 + Cl^- \rightarrow AgCl + NO3^-$$

$$AgNO3 + K_2CrO_4 \rightarrow KNO_3 + Ag_2CrO_4 \downarrow$$

راسب احمر جلدي

من كرومات الفضة

المواد المستخدمة

1 – أوكسيد الكالسيوم CaO: يحضر من تسخين كربونات الكالسيوم $CaCO_3$.

2 – حامض الخليك: إضافة 200 مل حامض الخليك إلى دورق حجم لتر ثم يكمل إلى العلامة بالماء المقطر.

3 – دليل كرومات البوتاسيوم: يحضر بإذابة 5 غم من الدليل في 80 مل ماء مقطر ثم نضيف عدة نقط من محلول مشبع من نترات الفضة يتكون راسب احمر واضح بعدها يرشح ويكمل الراشح إلى 100 مل بالماء المقطر.

4 – نترات الفضة 0.005 N: يذاب 0.85 غم من نترات الفضة في لتر ماء مقطر (يحفظ المحلول في مكان مظلم).

طريقة العمل

1 – يوزن 1 غم من العينة النباتية الجافه المطحونة وتوضع في جفنه من الخزف الصيني وتخلط مع 0.25 غم من أوكسيد الكالسيوم CaO ثم ترطب بقليل من الماء المقطر بحيث تتكون عجينه رقيقه.

2 – توضع الجفنة في محرقه muffle furnace وتحرق تدريجيا على درجة 550 لمدة ساعه ونصف على الأقل.

3 – بعد إخراج الجفنة من المحرقة تبرد ثم يستخلص الكلوريد من الرماد بإضافة 15 مل ماء ساخن وتوضع على سخان كهربائي وبعد التسخين ترشح مع غسل الراسب عدة مرات بالماء الساخن.

4 – يبرد الراشح ثم يضبط الـ pH عند 7 – 6 بإضافة حامض الخليك نقطة، نقطة بالاستعانة بجهاز pH – meter.

5 – يضاف 5 نقط من دليل كرومات البوتاسيوم ثم يسحح مع نترات الفضة (يفضل استخدام نترات الفضة 0.05 عياري بدلا من 0.005 عياري اذا استخدم الراشح كله) يتغير لون المحلول من الأصفر إلى الأحمر الجلدي، يسجل حجم نترات الفضة من السحاحة.

الحسابات

$$\%Cl = \frac{\text{حجم } AgNO_3 \times \text{عياريته} \times \text{الوزن المكافئ لـ } Cl}{1000} \times \frac{100}{\text{وزن العينة}}$$

الوزن المكافئ لـ Cl: 35.5

ب – طريقة الحرق الرطب

وفيها يتم هضم العينة النباتية باستخدام حامض الكبريتيك المركز وبيروكسيد الهيدروجين H_2O_2 ثم ضبط الـ pH لمستخلص النبات الحامضي عند 7 – 6 باستخدام هيدروكسيد الصوديوم وبوجود دليل المثيل البرتقالي وأخيرا إجراء عملية التسحيح مع نترات الفضة وبوجود دليل كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4 إلى أن يتكون راسب احمر جلدي من كرومات الفضة Ag_2CrO_4.

المواد المستخدمة

1 – دليل المثيل البرتقالي methyl orange: يحضر بإذابة 0.5 غم من الدليل في 100 مل من الكحول الأثيلي 95 %.

2 – هيدروكسيد الصوديوم لضبط الـ pH.

3 – دليل كرومات البوتاسيوم كما حضر سابقا.

4 – نترات الفضة 0.005 N كما حضر سابقا.

طريقة العمل:

1 – يؤخذ (2) مل من المستخلص الحامضي للحرق الرطب ويوضع في دورق مخروطي (50) مل ثم يضاف (25) مل ماء مقطر.

2 – يضاف قطره من دليل المثيل البرتقالي ثم يسحح مع هيدروكسيد الصوديوم، يتغير اللون من الأحمر إلى البرتقالي – يسجل حجم هيدروكسيد الصوديوم اللازم للمعايرة.

3 – تسكب العينة – يؤخذ (2) مل من المستخلص النباتي ويخفف بـ (25) مل ماء مقطر.

4 – يضاف حجم NaOH الذي تم حسابه في الخطوة (2).

5 – يضاف (5) قطرات من دليل كرومات البوتاسيوم ثم يسحح مع نترات الفضة (0.005) عياري إلى أن يتغير لون المحلول من الأصفر إلى الأحمر الجلدي، يسجل حجم نترات الفضة من السحاحة.

الحسابات:

$$\%Cl = \frac{\text{حجم } AgNO_3 \times \text{عياريته} \times \text{الوزن المكافئ لـ } Cl}{1000} \times \frac{\text{الحجم الكلي}}{\text{الحجم المستخدم}} \times \frac{100}{\text{وزن العينة}}$$

عند تقدير الكلوريد في النبات يجب مراعاة ما يلي:

1 – التأكد من عدم وجود الأحماض المعدنية – هذه الأحماض تذيب كرومات الفضة وتمنع ظهور الراسب الأحمر الجلدي.

2 – التأكد من عدم وجود المواد العضوية – هذه المواد تختزل نترات الفضة في الوسط المتعادل وتؤدي إلى نتائج خاطئة.

3 – في حالة وجود الحديد بكميات كبيره في العينة النباتية فيجب إضافة عدة نقط زياده من دليل كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4 – حيث أن الحديد يتفاعل مع جزء منها مكونا كرومات مترسبة.

مثال: عينه نباتيه وزنها (5) غم، هضمت واكمل الحجم إلى (100) مل، اخذ من هذا المستخلص (10) مل لتقدير الكلوريد فكان حجم نترات الفضة (0.005 عياري) اللازم للمعايرة (0.5) مل، احسب تركيز الكلوريد بالعينة بوحدة

1 – %   2 – ppm

الحل:

1 – نسبه مئوية %

$$\%Cl = \frac{\text{حجم } AgNO3 \times \text{عياريته} \times \text{الوزن المكافئ لـ } Cl}{1000} \times \frac{\text{الحجم الكلي}}{\text{الحجم المستخدم}} \times \frac{100}{\text{وزن العينة}}$$

3 – تسكب العينة – يؤخذ (2) مل من المستخلص النباتي ويخفف بـ (25) مل ماء مقطر.

4 – يضاف حجم NaOH الذي تم حسابه في الخطوة (2).

5 – يضاف (5) قطرات من دليل كرومات البوتاسيوم ثم يسحح مع نترات الفضة (0.005) عياري إلى أن يتغير لون المحلول من الأصفر إلى الأحمر الجلدي، يسجل حجم نترات الفضة من السحاحة.

الحسابات:

$$\%Cl = \frac{\text{حجم } AgNO_3 \times \text{عياريته} \times \text{الوزن المكافئ لـ } Cl}{1000} \times \frac{\text{الحجم الكلي}}{\text{الحجم المستخدم}} \times \frac{100}{\text{وزن العينة}}$$

عند تقدير الكلوريد في النبات يجب مراعاة ما يلي:

1 – التأكد من عدم وجود الأحماض المعدنية – هذه الأحماض تذيب كرومات الفضة وتمنع ظهور الراسب الأحمر الجلدي.

2 – التأكد من عدم وجود المواد العضوية – هذه المواد تختزل نترات الفضة في الوسط المتعادل وتؤدي إلى نتائج خاطئة.

3 – في حالة وجود الحديد بكميات كبيره في العينة النباتية فيجب إضافة عدة نقط زياده من دليل كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4 – حيث أن الحديد يتفاعل مع جزء منها مكونا كرومات مترسبة.

مثال: عينه نباتيه وزنها (5) غم، هضمت واكمل الحجم إلى (100) مل، اخذ من هذا المستخلص (10) مل لتقدير الكلوريد فكان حجم نترات الفضة (0.005 عياري) اللازم للمعايرة (0.5) مل، احسب تركيز الكلوريد بالعينة بوحدة

1 – % 2 – ppm

الحل:

1 – نسبه مئوية %

$$\%Cl = \frac{\text{حجم } AgNO3 \times \text{عياريته} \times \text{الوزن المكافئ لـ } Cl}{1000} \times \frac{\text{الحجم الكلي}}{\text{الحجم المستخدم}} \times \frac{100}{\text{وزن العينة}}$$

$$\%Cl = \frac{35.5 \times 0.005 \times 0.5}{1000} \times \frac{100}{10} \times \frac{100}{5}$$

$= 0.0177$

2 – بوحدة ppm

$ppm = \% \times 10000$

$= 0.0177 \times 10000$

$= 177$



الدرس العملي التاسع

تقدير العناصر الصغرى

الأهمية الفسيولوجية للحديد

يعتبر الحديد من العناصر الغذائية الضرورية الصغرى التي يحتاجها النبات، ويمتص النبات الحديد بشكل أيونات الحديدوز Fe^{+2} عن طريق الجذور أو قد يؤخذ عن طريق الأوراق عند إضافته رشا على الأوراق وبشكل عام فان تركيز الحديد في النبات يتراوح 250-50 جزء بالمليون، يلعب هذا العنصر دور مهم في حياة النبات من خلال:

1- يدخل الحديد في تفاعلات الأكسدة والاختزال Redox - Reaction حيث يلعب دور مهم في تفاعلات نقل الإلكترونات الخاصة بعملية التركيب الضوئي وعملية التنفس.

2 – للحديد دور في النظام الأنزيمي للنبات حيث يشارك في تحفيز وتنشيط العديد من الأنزيمات.

3 – يدخل في تركيب الكلوروبلاست ويلعب دور في تكوين البروتينات.

أعراض نقص الحديد على النبات

1 – الحديد عنصر قليل الحركة والانتقال داخل النبات لذلك تظهر أعراض نقصه على الأوراق والنموات الحديثة لعدم انتقاله من الأجزاء القديمة إلى الأجزاء والنموات الحديثة.

2 – أعراض النقص تظهر على شكل اصفرار ما بين العروق التي تبقى خضراء اللون، وهي بذلك تشابه أعراض نقص المغنيسيوم إلا انه في حالة المغنيسيوم تظهر أعراض النقص على الأوراق القديمة أولا حيث ان المغنيسيوم عنصر متحرك داخل النبات.

3- عند نقص الحديد يحدث خلل في عملية تكوين الكلوروفيل فتفقد الأوراق الحديثة لونها الأخضر تدريجيا وفي المراحل المتقدمة تبدو بيضاء اللون يتبعها سقوط هذه الأوراق.

4- جذور الأشجار التي تعاني من نقص الحديد تكون ذات حجم صغير ويميل لونها إلى البني.

تقدير الحديد الكلي في العينات النباتية:

هناك عدة طرق لتقدير الحديد في العينات النباتية إلا أن الطريقة الأكثر استخداما والأكثر ملائمة – والتي يستخدم فيها الحرق الجاف – هي الطريقة اللونية باستخدام الأورثوفينانثرولين والتي تسمى O- phenanthroline method وذلك بسبب ثباتيه اللون المتكون والذي يبقى ثابت لفتره طويله

00:33:56

كذلك فان احتمال التلوث أو حصول التداخل قليل بسبب الظروف الحامضية ووجود مادة سترات الصوديوم التي تستخدم لضبط الـ pH عند 3.5.

في هذه الطريقة يستخدم الحرق الجاف للعينه النباتية وبعد الحصول على المستخلص الحامضي يتم ضبط الـ pH للمحلول عند 3.5 باستخدام سترات الصوديوم لمنع حدوث التداخلات يتبع ذلك اختزال الحديد وينتج عن عملية الاختزال أيونات الحديدوز Fe^{+2} وهذه تتفاعل مع الأورثوفينانثرولين O- phenanthroline لتعطي لون احمر أو برتقالي محمر ويمكن قياس شدة هذا اللون باستخدام جهاز قياس الطيف الضوئي spectrophotometer وعند طول موجي 508 نانوميتر، هذا اللون يبقى ثابت لفتره لا تقل عن أسبوعين.

المواد المستخدمة

1 – الهايدروكينون: Hydroquinone 1 % بالماء المقطر.

2 – سترات الصوديوم Sodium citrate: 250 غم من سترات الصوديوم/ لتر ماء مقطر.

3 – الأورثوفينانثرولين O- phenanthroline

0.5 غم من المادة/ 100 مل ماء مقطر – يحفظ في قنينه مظلمه.

4 – محلول قياسي للحديد تركيز 100 ppm، يذاب 0.1 غم من الحديد الالكتروليتي في 50 مل حامض HNO_3 (4عياري) مع التسخين

حتى الذوبان – تركيز هذا المحلول هو 100 ppm حديد.

من المحلول الأصلي السابق تحضر المحاليل القياسية التالية للحديد وذلك في دوارق حجميه 50 مل: 0, 1, 2, 3, 4, 5 ppm وذلك اعتمادا على:

$$\text{الحجم المطلوب أخذه من المحلول الأصلي} = \frac{\text{الحجم المطلوب} \times \text{التركيز المطلوب}}{\text{التركيز الأصلي}}$$

فتصبح الحجوم المطلوب سحبها من المحلول الأصلي لتحضير المحاليل السابقة هي على التوالي: 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2,5 مل.

طريقة العمل

1 – يؤخذ 2.5 مل من المستخلص الحامضي للنبات (المحضر بطريقة الحرق الجاف) ويوضع في دورق حجمي 50 مل.

2 – يتم ضبط الـ pH عند 3.5 بإضافة سترات الصوديوم مع الاستعانة بجهاز pH –meter أو ورق زهرة الشمس (يسجل حجم السترات اللازم للوصول إلى pH 3.5) ثم تسكب العينة.

3 – يؤخذ 2.5 مل من المستخلص الحامضي للنبات (مره ثانيه) ويوضع في دورق حجمي 50 مل.

4 - يضاف 1 مل من الـ Hydroquinone + 1 مل من O- phenanthroline + حجم سترات الصوديوم المحسوب في الخطوة (2).

5 – يكمل الدورق إلى العلامة بالماء المقطر ثم يترك عند درجة حراره 20 مئوي حتى يتكون اللون البرتقالي المحمر.

6 – بعد 60 دقيقه – يتم قياس شدة اللون باستخدام جهاز قياس الطيف الضوئي spectrophotometer وعند طول موجي 508 نانوميتر.

7 – تطبق الخطوات 6 ,5، 4 على المحاليل القياسية المحضرة سابقا.

8 . تسجل قراءة كل محلول من المحاليل القياسية السابقة على جهاز الـ Spectrophotometer وعند طول موجي 508 نانوميتر.

9 . يرسم منحنى قياسي والذي يوضح العلاقة بين تراكيز المحاليل القياسية وقراءة الجهاز لهذه المحاليل.

10. يتم تسقيط قراءة الجهاز لعينة المستخلص النباتي على المنحنى القياسي للحصول على تركيز الحديد بوحدة ملغم/لتر (ppm بعد التسقيط).

الحسابات

$$\%\,Fe = \frac{ppm}{1000} \times \frac{\text{حجم الدورق المستخدم للتقدير}}{1000} \times \frac{\text{حجم المستخلص الكلي}}{\text{حجم المستخلص المستخدم}} \times \frac{100}{\text{وزن العينة}}$$

الأهمية الفسيولوجية للنحاس

النحاس: من العناصر الغذائية الضرورية الصغرى التي يحتاجها النبات، حيث يبلغ متوسط محتوى النبات من هذا العنصر حوالي 8 – 20 جزء بالمليون ويمتص النبات هذا العنصر على شكل أيوني Cu^{+}، Cu^{+2}، ويؤثر النحاس في حياة النبات من خلال الوظائف الحيوية

1 – يؤثر في عملية التركيب الضوئي وذلك لدوره الضروري في تكوين الكلوروفيل.

2 – عامل مساعد في تحفيز عدد من الأنزيمات كما يحفز تكون الأحماض النووية.

3 – يدخل في تركيب عدد من الأنزيمات خاصة أنزيمات الأكسدة والاختزال.

4 – عامل مساعد في تكوين صبغة الانثوسيانين المسؤولة عن اللون المميز لثمار بعض أنواع الفاكهة.

أعراض النقص

1 – النحاس من العناصر البطيئة الحركة داخل النبات لهذا تظهر أعراض نقصه في البداية على النموات الحديثة.

2- انحناء اطراف الأفرع إلى الأسفل.

3 – ظهور لون ابيض أو وردي فاتح على قمة النبات كما ان الأوراق تكون رفيعة وتأخذ شكل لولبي كما يلاحظ انخفاض عدد الأزهار على النبات.

الأهمية الفسيولوجية للزنك

من العناصر الضرورية الصغرى التي يحتاجها النبات، متوسط تركيزه في النبات 70 – 20 جزء بالمليون، يمتص النبات هذا العنصر على شكل Zn^{+2} أو على شكل $Zn(OH)_2$، من اهم وظائف الخارصين:

1 – يشترك في تركيب عدد من الأنزيمات كما يحفز طائفه أخرى من الأنزيمات.

2 – يحفز منظم نمو واستطالة الخلايا اندول حامض الخليك (IAA) عن طريق المساعدة في تكوين الحامض الأميني التريبتوفان الذي يعتبر المادة الأساسية لتكوين الـ (IAA).

3 – يلعب دور في تكوين النشا والبروتين في النبات.

أعراض النقص

1- الخارصين من العناصر البطيئة الحركة داخل النبات لهذا تظهر أعراض نقصه في البداية على النموات الحديثة.

00:34:13

2 – يظهر الاصفرار بين عروق الورقة بينما تبقى العروق خضراء اللون وقد يتحول اللون الأصفر إلى ابيض.

3 – الأوراق الحديثة تكون صغيره ومبرقشه وغير منتظمة الشكل وتكون متجمعة ومتزاحمة في نهاية الأفرع بسبب قصر سلامياتها وهي بذلك تأخذ شكل الوردة لذلك تسمى هذه الظاهرة بالتورد (Rosette).

4 – النبات صغير وقزم بسبب نقص هرمون منظم النمو الـ (IAA).

الأهمية الفسيولوجية للمنغنيز

يمتص النبات عنصر المنغنيز على شكل Mn^{+2} أو Mn^{+3}، ويتراوح تركيزه في النبات بين 20 - 150 جزء بالمليون، اهم وظائف هذا العنصر:

1 – عامل مساعد ومنشط في تكوين الكلوروفيل إلا انه لا يدخل في تركيبه.

2 – منشط لعدد من الأنزيمات خاصة إنزيمات الأكسدة (Oxidases)وإنزيمات الاختزال مثل أنزيمات اختزال النترات داخل النبات.

3 – زيادة المنغنيز تسبب أكسدة وهدم الـ auxin كما ان نقصه يسبب زياده غير طبيعية بأندول حامض الخليك (IAA).

4 – يلعب دور في تكوين الأحماض العضوية في النبات.

أعراض النقص

1– المنغنيز ليس سهل الحركة نسبيا داخل النبات لهذا تظهر أعراض نقصه في البداية على النموات الحديثة.

2 – يظهر الاصفرار chlorosis على الأوراق الحديثة النمو بينما العروق تبقى خضراء وتتحول المساحة بين العروق إلى بقع ذات لون اخضر شاحب ثم اصفر ثم اصفر مبيض.

3 – اهم ما يميز نقص المنغنيز هو وجود شريط اخضر داكن يحيط بالعروق التي تبقى خضراء كما ان الاصفرار لا يبدأ بقمة الورقة كما في عنصري النتروجين والبوتاسيوم بل تبقى قمم الأوراق محتفظة بلونها الأخضر.

الأهمية الفسيولوجية للموليبديوم

يحتاج النبات هذا العنصر بكميات قليله، حيث يتراوح تركيزه في النبات بشكل عام بين 1 جزء بالمليون إلى 5 جزء بالمليون وخلافا لبقية العناصر الصغرى فان الموليبديوم يمتصه النبات بكميات كبيره دون أن

00:34:31

يكون له تأثير سمي على النبات، ويمتص النبات المولبيديوم على شكل أيون المولبيدات $MoO4^{-2}$ اهم الوظائف الحيوية للعنصر:

1 – يدخل في تركيب أنزيمين مهمين للنبات هما أنزيم النيتروجينيز Nitrogenase المسؤول عن عملية تثبيت النتروجين الجوي في البقوليات، وأنزيم Nitrate reductase المسؤول عن اختزال النترات إلى أمونيا داخل النبات.

2- له دور في امتصاص وانتقال الحديد داخل النبات.

أعراض النقص

1 – أعراض نقص المولبيديوم تشابه أعراض نقص النتروجين بسبب دور المولبيديوم في اختزال النترات وتبدأ الأعراض بظهور اللون الأصفر أو الأصفر المخضر على الأوراق الوسطى والقديمة.

2 – التفاف الأوراق وصغر حجمها وظهور بقع صغيره عليها.

3 – في المراحل المتقدمة من النقص لا يتكون نصل الورقة حيث تجف انسجه الورقة مع بقاء العرق الوسطي وبعض أجزاء النصل، فتظهر الورقة على شكل سوط أو ذيل وتسمى هذه الظاهرة بالذيل السوطي.

الأهمية الفسيولوجية للبورون

البورون من العناصر الغذائية الضرورية التي يحتاجها النبات بكميات قليله، ويمتص النبات هذا العنصر على شكل BO_3^{-3}، اهم وظائف العنصر:

1 – يلعب دور مهم في انتقال السكريات داخل النبات.

2 – ضروري في تكوين وانقسام الخلايا وزيادة ثبوتية جدار الخلية.

3 – يؤثر في العمليات الحيوية للنتروجين داخل النبات حيث أن نقص البورون يسبب تجمع النترات في النبات.

4 – يلعب دور في تكوين الأحماض النووية الـ RNA و الـ DNA وإنتاج حبوب اللقاح.

5 – يؤثر في الهورمونات النباتية، نقصه يزيد من تجمع الـ Auxin ويقلل من تكوين الـ Cytokinine.

أعراض النقص

1 – البورون عنصر غير متحرك نسبيا داخل النبات لهذا تظهر أعراض نقصه أولا على النموات الحديثة.

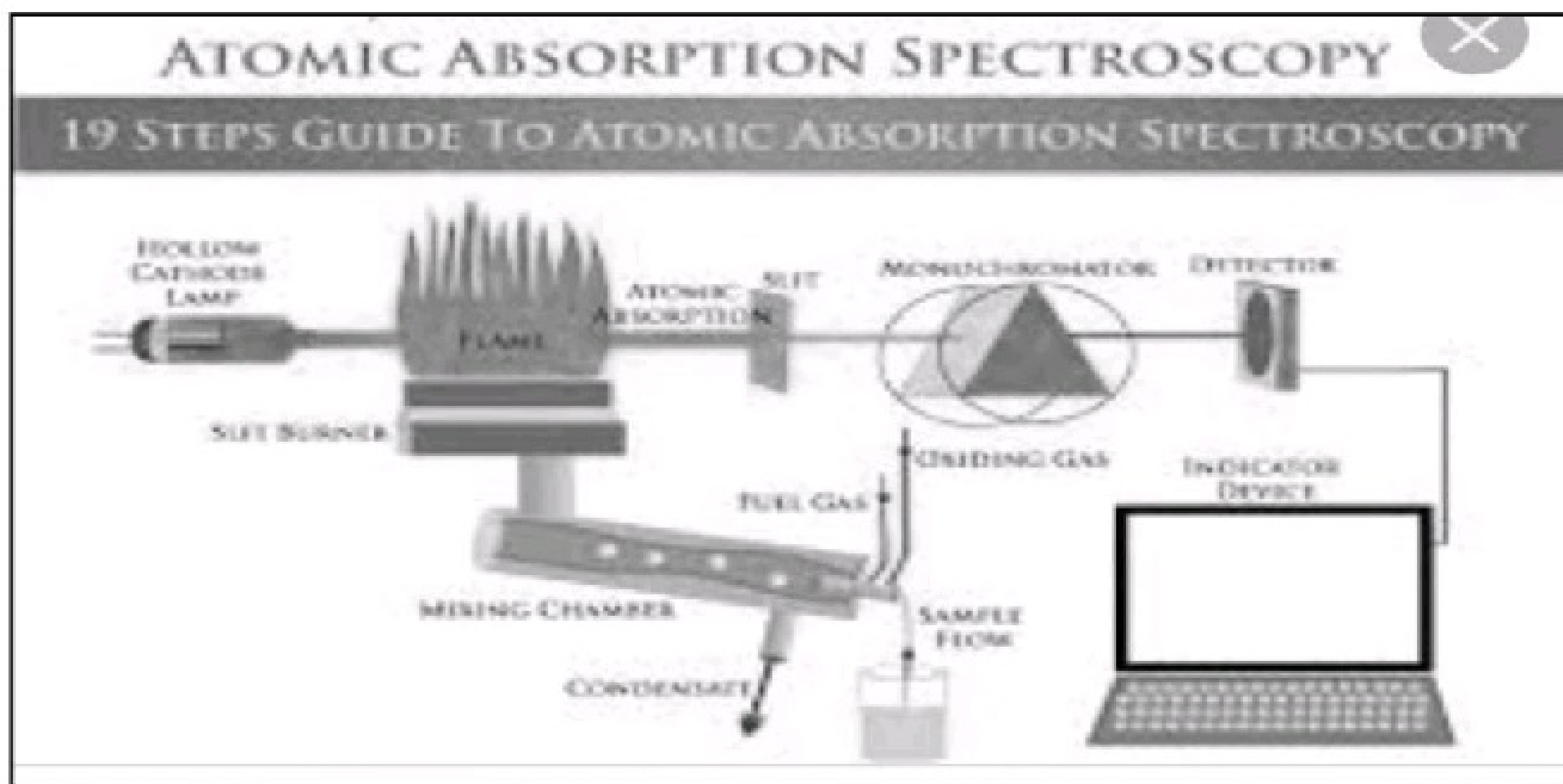
2 – تبدأ الأعراض بظهور الذبول على النبات والذي يحدث نتيجة تأثر الأنسجة الناقلة للماء.

3 – تشوهات مختلفة في النموات الحديثة بسبب انحلال الأنسجة الداخلية وموتها كما أن الأوراق تكون سميكة وغير منتظمة.

4 – قلة الأزهار وانخفاض الإنتاج بسبب دور العنصر في انتتاج حبوب اللقاح وانخفاض معدل الأخصاب.

تقدير العناصر الصغرى في النبات: صعوبة تقدير العناصر الصغرى في النبات تكمن في أن حاجة النبات لهذه العناصر ضئيلة جدا وبالتالي فان محتوى النبات من هذه العناصر قليله جدا لا تتجاوز عدة أجزاء من المليون مما يستدعي الدقة والحذر لمنع حصول أي تلوث عند تقدير هذه العناصر في النبات.

هناك عدة طرق لتقدير العناصر الصغرى في النبات، إلا أن اهم هذه الطرق وأكثرها دقة واستخداما هي طريقة القياس باستخدام جهاز مطياف الامتصاص الذري (Atomic Absorption (A.A.S Spectrophotometer ،حيث تعتبر هذه الطريقة افضل الطرق لتقدير عناصر الحديد، الخارصين، المغنيز، النحاس وباستخدام طريقة الهضم الرطب، ويتم تقدير العناصر الصغرى بعد هضم العينة النباتية لتحويل هذه العناصر إلى صوره ذائبه بعد ذلك يتم القياس باستخدام جهاز الامتصاص الذري مع تحضير محاليل قياسيه متدرجه لكل عنصر من العناصر المراد تقديرها.



1- طريقة الحرق (الهضم الجاف): وفيها تحرق العينة النباتية في جهاز محرقه (مرمدة) muffle furnace على درجة حراره عالية (500 –450) مئوي ولغاية الحصول على رماد ابيض نظيف، ومن ثم إذابة الرماد في حامض والتقدير باستخدام جهاز (A.A.S).

00:34:57

طريقة العمل

1 – توضع جفنه من البورسلين (تحتوي على 1 غم عينه نباتيه جافه ومطحونة) في مرمدة، ثم ترفع درجة الحرارة تدريجيا وذلك لمنع تكربن العينة ولغاية الوصول إلى درجة 500 درجه مئوية.

2 – تستمر عملية الحرق حوالي (8 –6 ساعات) وحتى تتحول العينة إلى رماد ابيض نظيف.

3 – تبرد العينة ثم تذوب في 10 مل حامض HCl تركيز 1 :1،ويفضل تغطية الجفنة بزجاجة ساعه قبل إضافة الحامض لمنع فقدان أي جزء من العينة نتيجة الفوران الناتج من إضافة الحامض.

4 – بعد التأكد من ذوبان الرماد، يضاف 50 مل ماء مقطر وتمزج العينة جيدا ثم ترشح من خلال ورق ترشيح 42 whatman ويجمع الراشح في دورق حجمي 100 مل مع غسل الجفنة وورقة الترشيح بالماء المقطر عدة مرات – بعد اكتمال عملية الترشيح يكمل الدورق إلى العلامة بالماء المقطر.

5 – المحلول الناتج يستخدم لتقدير عناصر الخارصين، الحديد، النحاس، المنغنيز باستخدام جهاز طيف الامتصاص الذري (A.A.S)، وتسبق عملية القياس تحضير محاليل قياسيه لكل عنصر من العناصر المراد تقديرها.

2 – طريقة الأكسدة (الهضم الرطب): وفيها يتم هضم العينة النباتية باستخدام أحماض مركزه، ويشترط أن تجرى عملية الهضم في غرفة سحب الغازات fume hood ويستخدم في هذه الطريقة خليط من حامضي البروكلوريك $HCLO_4$ والنتريكHNO_3 بنسبة حجم واحد من الأول إلى حجمين من الثاني.

طريقة العمل

1 – يوزن 1 غم نبات جاف مطحون ويوضع في بيكر زجاجي سعة 100مل.

2 – يضاف 10 مل من خليط الحامضين (البروكلوريك + النتريك) وتترك العينة ليله كامله.

3 – تسخن العينة على درجة حراره واطئة أولا ثم ترفع درجة الحرارة تدريجيا (اذا حدث فوران مفاجئ اخفض حرارة التسخين) حتى ظهور ابخره بيضاء وتحول لون المحلول إلى لون رائق.

4 – برد العينة ثم انقلها نقل كمي عبر ورق ترشيح رقم 42 إلى دورق حجمي 50 مل – خفف إلى العلامة بالماء المقطر.

00:35:00

طريقة العمل

1 – توضع جفنه من البورسلين (تحتوي على 1 غم عينه نباتيه جافه ومطحونة) في مرمدة، ثم ترفع درجة الحرارة تدريجيا وذلك لمنع تكربن العينة ولغاية الوصول إلى درجة 500 درجه مئوية.

2 – تستمر عملية الحرق حوالي (8 –6 ساعات) وحتى تتحول العينة إلى رماد ابيض نظيف.

3 – تبرد العينة ثم تذوب في 10 مل حامض HCl تركيز 1 :1،ويفضل تغطية الجفنة بزجاجة ساعه قبل إضافة الحامض لمنع فقدان أي جزء من العينة نتيجة الفوران الناتج من إضافة الحامض.

4 – بعد التأكد من ذوبان الرماد، يضاف 50 مل ماء مقطر وتمزج العينة جيدا ثم ترشح من خلال ورق ترشيح 42 whatman ويجمع الراشح في دورق حجمي 100 مل مع غسل الجفنة وورقة الترشيح بالماء المقطر عدة مرات – بعد اكتمال عملية الترشيح يكمل الدورق إلى العلامة بالماء المقطر.

5 – المحلول الناتج يستخدم لتقدير عناصر الخارصين، الحديد، النحاس، المنغنيز باستخدام جهاز طيف الامتصاص الذري (A.A.S)، وتسبق عملية القياس تحضير محاليل قياسيه لكل عنصر من العناصر المراد تقديرها.

2 – طريقة الأكسدة (الهضم الرطب): وفيها يتم هضم العينة النباتية باستخدام أحماض مركزه، ويشترط أن تجرى عملية الهضم في غرفة سحب الغازات fume hood ويستخدم في هذه الطريقة خليط من حامضي البروكلوريك $HCLO_4$ والنتريكHNO_3 بنسبة حجم واحد من الأول إلى حجمين من الثاني.

طريقة العمل

1 – يوزن 1 غم نبات جاف مطحون ويوضع في بيكر زجاجي سعة 100مل.

2 – يضاف 10 مل من خليط الحامضين (البروكلوريك + النتريك) وتترك العينة ليله كامله.

3 – تسخن العينة على درجة حراره واطئة أولا ثم ترفع درجة الحرارة تدريجيا (اذا حدث فوران مفاجئ اخفض حرارة التسخين) حتى ظهور ابخره بيضاء وتحول لون المحلول إلى لون رائق.

4 – برد العينة ثم انقلها نقل كمي عبر ورق ترشيح رقم 42 إلى دورق حجمي 50 مل – خفف إلى العلامة بالماء المقطر.

٥ – المحلول الناتج يستخدم لتقدير عناصر الخارصين، الحديد، النحاس، المنغنيز باستخدام جهاز طيف الامتصاص الذري (A.A.S)، وتسبق عملية القياس تحضير محاليل قياسيه لكل عنصر من العناصر المراد تقديره.

الحسابات

تركيز العناصر الصغرى (ppm) =

حجم المستخلص الكلي (مل)

التركيز ppm (من المنحنى بعد التسقيط) × ----------------------

وزن النبات الجاف (غم)

تحضير المحاليل القياسية للعناصر الصغرى:

تحضير محلول قياسي للزنك:

1- يذوب 4.398 غم من $ZnSO_4.7H_2O$ في كميه من الماء المقطر باستخدام بيكر زجاجي، بعد اكتمال عملية الذوبان تنقل محتويات البيكر إلى دورق حجمي سعة لتر ثم يكمل الحجم إلى العلامة بالماء المقطر اللا أيوني – تركيز هذا المحلول هو 1000 جزء بالمليون زنك، تم حساب الوزن من خلال العلاقة التالية:

الوزن الجزيئي لـ $ZnSO_4.7H_2O$ = مجموع الأوزان الذرية = 287.43

$ZnSO_4.7H_2O$ غم	Zn غم
287.43	65.37
x	1

X = 4,398 غم يذوب من $ZnSO_4.7H_2O$ في دورق حجمي لتر ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر اللا أيوني.

2 – يسحب 10 مل من المحلول السابق وتوضع في دورق حجمي 1000 مل وتكمل إلى العلامة بالماء المقطر اللا أيوني – تركيز هذا المحلول هو10 ppm

3 – من المحلول السابق (10 ppm) تحضر المحاليل القياسية المتدرجة:

0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 2, 3, 4, 5 ppm في دوارق حجميه سعة 100 مل

وذلك بسحب الأحجام:

2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40, 50 مل من المحلول القياسي الأصلي (10 ppm)

ووضع كل حجم في دورق حجم 100 مل ومن ثم يكمل إلى العلامة بالماء المقطر اللا أيوني، تم حساب الأحجام المسحوبة اعتمادا على:

$$\text{الحجم المطلوب أخذه من المحلول الأصلي} = \frac{\text{الحجم المطلوب} \times \text{التركيز المطلوب}}{\text{التركيز الأصلي}}$$

تحضير محلول قياسي للمنغنيز

يذوب 3.076 غم من $MnSO_4.H_2O$ في قليل من الماء المقطر باستخدام بيكر زجاجي – بعد اكتمال الذوبان تنقل محتويات البيكر إلى دورق حجمي سعة لتر ويكمل الحجم إلى العلامة بالماء المقطر اللا أيوني – تركيز المحلول الناتج هو 1000 ppm منغنيز، تكرر الخطوات 2 و 3 كما في تقدير الخارصين.

تحضير محلول قياسي للنحاس:

يذوب 3.929 غم من $CuSO_4.5H_2O$ في قليل من الماء المقطر باستخدام بيكر زجاجي – بعد اكتمال الذوبان تنقل محتويات البيكر إلى دورق حجمي سعة لتر ويكمل الحجم إلى العلامة بالماء المقطر اللا أيوني – تركيز المحلول الناتج هو1000 ppm نحاس، تكرر الخطوات 2 و 3 كما في تقدير الخارصين.

تحضير محلول قياسي للحديد

يذوب 7.022غم من $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2.6H_2O$ في 400 مل من الماء المقطر ثم يضاف 5 مل من H_2SO_4 المركز – بعد اكتمال الذوبان تنقل محتويات البيكر إلى دورق حجمي سعة لتر ويكمل الحجم إلى العلامة بالماء المقطر اللا أيوني – تركيز المحلول الناتج هو1000 ppm حديد، تكرر الخطوات 2 و3 كما في تقدير الخارصين.

أو يحضر بإذابة 1 غم من سلك الحديد النقي في 40 مل حامض النتريك HNO_3 وإكمال الحجم إلى لتر بالماء المقطر اللا أيوني.

الفكرة الأساسية لعمل جهاز طيف الامتصاص الذري

تعتمد الفكرة الأساسية لجهاز طيف الامتصاص الذري على تكوين ذرات حره طليقة في المستوى الواطئ المستقر على شكل غيمه ذريه وذلك بواسطة وقود/ عامل مؤكسد متمثلا بالأسيتيلين/ هواء أو أوكسيد النتروز، وهذه تمتص الشعاع الرنيني Resonance line الصادر من المصباح المهبطي المجوف Hollow cathode lamp (كاثود المصباح مصنوع من نفس العنصر المراد تقديره) فتنتقل إلى المستوى المثار، وتحصل عملية الامتصاص اعتمادا على طول الموجه الصادرة من المصباح لكل عنصر يمتص الأشعة الخاصة به، واعتمادا على قانون بير- لامبرت الذي ينص على أن كمية الضوء الممتص تتناسب طرديا مع التركيز والمسار الضوئي، وبالتالي فان الشعاع النافذ يمر عبر مفرد للضوء (وحدة موحد الألوان) monochromator لغرض عزل احد الأطوال الموجية مرورا بوحدة المكشاف Detector الذي يقوم بتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية.

الوحدات الرئيسية للجهاز

1 – المصباح المهبطي المجوف Hollow cathode lamp وهو مصدر الأشعة.

2 – الموقد (المشعل) Burner وحدة توليد الحرارة.

3 – مفرد الألوان Monochromator وهو وحدة فصل الأطوال الموجية.

4 – المذري Atomizer وهو وحدة تحويل العناصر المرتبطة إلى الصورة الذرية.

5 – المكشاف (خليه ضوئية) Detector وهو وحدة قياس طاقة الأشعة.

6 – الحاسبة Data processor وحدة إظهار البيانات (التراكيز والرسوم البيانية)



الدرس العملي العاشر

تقدير البورون والموليبديوم

الفكرة الأساسية لتقدير البورون

استخدمت العديد من الطرق اللونية التي تعتمد على عمل محلول ملون تتناسب شدة الضوء الممتص فيه تناسبا طرديا مع تركيز أيون البورات، ومن اكثر هذه الطرق استخداما هي طريقة الكركمين.

الفكرة الأساسية لتقدير البورون في العينات النباتية بهذه الطريقة تعتمد على تكوين مركب ملون يذوب في الكحول، وهذا المركب الملون يتم الحصول عليه من تبخير محلول يحتوي على البوريك H_3BO_3 وحامض الأوكزاليك Oxalic acid ومادة الكركمين curcumin إلى حد الجفاف عند درجة حراره 3 ±55 مئوي، شدة اللون الناتج تتناسب مع تركيز البورون في المستخلص النباتي ويمكن قراءة الامتصاصية للمحلول الملون الذائب في الكحول باستخدام جهاز الطيف الضوئي spectrophotometer عند طول موجي 540 nm نانوميتر، هذه الطريقة تكون ملائمه عندما يكون تركيز البورون 2 – 0.1 مايكرو غرام/ مل.

ويراعى عند تقدير البورون عدم استخدام أواني مصنوعه من الزجاج وإنما تستخدم قناني بلاستيكية كما يمكن استخدام علب الألمنيوم الخاصة بالمشروبات الغازية بدلا من الدوارق الزجاجية.

المواد المستخدمة

1 – محلول الكركمين – أوكزاليك اسد: Curcumin –oxalic acid solution

يذوب 0.04 غم من الكركمين المطحون الناعم + 5 غم من حامض الأوكزاليك في 100 مل من الكحول الاثيلي تركيز 95%. هذا المحلول يحفظ في قنينه مظلمه في الثلاجة ويبقى صالح للاستعمال لمدة أسبوع.

2 – محلول قياسي للبورون: يذوب 0.286 غم من حامض البوريك الجاف بقليل من الماء المقطر، وبعد اكتمال الذوبان يكما الحجم إلى لتر بالماء المقطر، كل مل من هذا المحلول يحتوي 50 مايكرو غرام بورون، خفف 4.0 ,2.0 ,1.0 ,0.5 ,0.2 مل من المحلول السابق إلى 100 مل بالماء المقطر، المحاليل الناتجة تحتوي على 2.00 ,1.00 ,0.50 ,0.25 ,0.1 مايكرو غرام B/ مل.

طريقة العمل

1 – اسحب بالماصة 1 مل من المستخلص النباتي إلى طبق تبخير بورسلين.

2 – اضف 4 مل من محلول الكركمين – أوكزاليك أسد ثم امزج جيدا.

3 – سخن على حمام مائي على درجة حراره 3 ±55 واترك العلبة في الحمام المائي بعد الجفاف على الأقل لمدة ربع ساعه.

4 – برد الطبق إلى درجة حرارة الغرفة ثم اضف 25مل من الكحول الاثيلي 95%، افرك المتبقي بقضيب مطاطي للتأكد من استخلاص الكحول للمركب الملون بشكل كامل.

5 – رشح المحلول باستخدام ورق ترشيح رقم 1 واستقبل الراشح في دورق يناسب حجم الراشح.

6 –اقرأ الامتصاصية للمحلول باستخدام جهاز الطيف الضوئي spectrophotometer عند طول موجي 540nm.

7 – طبق الخطوات السابقة على المحاليل القياسية للبورون والمحضرة سابقا.

8 - يرسم منحنى قياسي والذي يوضح العلاقة بين تراكيز المحاليل القياسية وقراءة الجهاز لهذه المحاليل.

9 - يتم تسقيط قراءة الجهاز لعينة المستخلص النباتي على المنحنى القياسي للحصول على تركيز البورون (ppm بعد التسقيط).

الحسابات

$$\text{تركيز البورون} = \frac{R}{\text{وزن النموذج}} \times 100$$

R : قراءة جهاز spectrophotometer لـ 1 ppm بورون.

الفكرة الأساسية للموليبديوم

تتلخص الفكرة الأساسية للتقدير بتكوين معقد ملون بلون الكهرمان (amber) بين الموليبديوم والثايوسيانيت thiocyanate وهذا المعقد يستخلص باستخدام مذيب عضوي ثم قياس النفاذية باستخدام جهاز الـ spectrophotometer عند طول موجي 475nm.

00:35:58

المواد المستخدمة:

1 - حامضHCl يخفف حسب الحاجة.

2- محلول كلوريد القصديروز $SnCl_2$: أذب 20 غم من $SnCl_2$ في 20 مل حامض HCl مع التسخين (التسخين دون الغليان) - أكمل إلى 200مل بماء مقطر لا أيوني. يحضر هذا المحلول عند الاستخدام.

3- كلوريد الحديديك سداسي التأدرت $FeCl_3.6H_2O$ (مطلوب في تحضير المحاليل القياسية والبلانك والأنسجة النباتية ولكن ليس الترب): أذب 49غم من$FeCl_3.6H_2O$ في ماء مقطر لا أيوني وأكمل الحجم إلى لتر.

4- نترات الصوديوم $NaNO_3$: أذب 42.5 غم من$NaNO_3$ في ماء مقطر لا أيوني وأكمل الحجم إلى 100مل.

5- ثايوسيانات الأمونيوم NH_4SCN : أذب 50 غم منNH4SCN في ماء مقطر لا أيوني وأكمل الحجم إلى 500مل.

6- 1-1 di-isopropyl ether (يغسل الأيثر قبل الاستخدام بمزيج من 1l3SnCl2 و1l3NH4SCN و 1l3ماء مقطر لا أيوني لإزالة الشوائب (أن وجدت): ضع محلول 1-1di- isopropyl etherفي قمع فصل وأضف محلول الغسل بكمية تساوي 1l10 حجم الأيثر المأخوذ. رج المزيج تماما ودع الطور العضوي ينفصل عن الطور المائي. أبزل وأطرح الطور المائي وأغسل مرة أخرى بحامض HCL (2N) بكمية تساوي 1l10 حجم الأيثر. رج و أبزل وكرر العملية أربع إلى خمس مرات.

الحسابات: كما في تقدير البورون.

تحضير المحاليل القياسية والمنحنى القياسي للموليبيديوم

- أذب 0.150 غم من ثلاثي أوكسيد الموليبيديوم MoO_3 النقي في 10مل من هيدروكسيد الصوديوم (0.1N)،حمض المحلول قليلا بإضافة حامضHCl وأكمل الحجم إلى لتر بماء مقطر لا أيوني.

- خذ 10 مل من هذا المحلول وأكمل الحجم إلى لتر فتحصل على محلول تركيزه 1 مايكرو غرام موليبيديوم /مل.

00:36:00

- لتحضير محاليل قياسيه: أضف 5 مل من حامض HC (6 N)إلى قمع فصل. أضف إليها المحاليل القياسية للمولبيديوم بتراكيز (0, 0.5, 1.o, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 مايكرو غرام مولبيديوم/ مل المحضرة أثناء عمليات الاستخلاص لرسم المنحنى القياسي). أكمل الحجم في كل قمع إلى 25 مل بماء مقطر لا أيوني.

طريقة العمل

1- أنقل حجم مناسب من المحلول المجهول يحتوي على ما يقارب (3-1) مايكرو غرام مولبيديوم/ مل إلى قمع فصل. أضف بتتابع 1 مل من $FeCl_3.6H_2O$ (إلى المحاليل القياسية والبلانك فقط) و1مل من $NaNO_3$ و 5 مل من NH_4SCN و5مل من كلوريد القصديروز. بعد إضافة كل محلول، رج وأزل ثم أغسل رواسب السدادة الزجاجية وعنق قمع الفصل بماء مقطر لا أيوني مستخدما بطل غسيل ذو رأس مدبب. من الضروري جعل عنق قمع الفصل خالي من المحاليل الكيميائية، لأن النقل النهائي لمعقد المولبيديوم في طور الأيثر سوف يصب من خلال عنق قمع الفصل، وبهذا يمكن التخلص من الانتقال المحتمل لبقايا المحاليل الكيميائية والرطوبة في الساق. وأخيرا أضف 5 مل من isopropyl ether مغسول ورج. أترك طور الأيثر لينفصل، أزل رواسب السدادة الزجاجية، أغسل عنق القمع وأمسحه بمنديل ورقي ناعم وأسحب الطور المائي. أنقل طور الأيثر إلى أنبوبة طرد مركزي سعة 15 مل بصبه من قمة قمع الفصل. قس % النفاذية عند 475nm نانوميتر بواسطة جهازspectrophotometer ثم قدر تركيز المولبيديوم في النموذج النباتي باستخدام المحاليل القياسية.

00:36:02

الدرس العملي الحادي عشر
المحلول المغذي

المحلول المغذي هوم حلول يحتوي على مجموعه من العناصر الغذائية الضرورية التي يحتاجها النبات بنسب ثابته ومعلومة وفي حالة اتزان، وهذه العناصر هي العناصر الكبرى (N, P, K , Ca, Mg, S) والعناصر الصغرى (Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo) ويتم تحضير هذا المحلول من أملاح نقيه تحتوي على العناصر الغذائية السابقة، وفي حالة دراسة أهمية عنصر غذائي معين يتم حذف هذا العنصر من المحلول المغذي على ان يتم تعويض ملح العنصر الغذائي المحذوف بملح آخر للمحافظة على أسموزية المحلول، ويطلق على عملية نمو النبات في المحلول المغذي مصطلح هيدروبونكس Hydroponics وهي كلمه يونانية مكونه من Hydro وهي الماء و ponics وهي عمل أي عمل الماء بينما الزراعة بالتربة يطلق عليها Geoponics.

لا يوجد محلول غذائي واحد يصلح لكافة النباتات ويرجع ذلك إلى اختلاف النباتات في احتياجاتها للعناصر الغذائية فقد يكون تركيب المحلول مناسبا لنبات معين وغير مناسب لنبات آخر كذلك تختلف حاجة النبات الواحد للعناصر الغذائية باختلاف عمر النبات ومراحل نموه المختلفة.

هناك نقاط مهمه يجب ملاحظتها عند تحضير المحاليل المغذية:

1 – استخدام أملاح نقيه في عملية التحضير.

2 –يحتوي المحلول المغذي على الكميات المناسبة من العناصر الغذائية التي يحتاجها النبات كما يجب أن تكون النسبة بين العناصر مناسبه للاحتياجات النباتية.

3 – يجب المحافظة على درجة تفاعل المحلول المغذي (الـ pH) بين (4.5 - 6.5).

4 – أن يكون الضغط الأسموزي للمحلول المغذي بين (1 – 0.5) ضغط جوي

مصادر تلوث المحلول المغذي يعتبر التلوث احد المعوقات الرئيسية التي تواجه تحضير المحاليل المغذية والتي تقلل من كفاءة وفعالية المحلول المغذي، واهم مصادر هذا التلوث:

1 – الأملاح والماء المستخدمين في عملية تحضير المحلول المغذي، فيجب أن تكون الأملاح على درجه عالية من النقاوة كذلك الماء يجب أن يكون مقطر خالي من الأيونات.

2 –الأوعية التي يوضع فيها المحلول المغذي وتعتبرا لأوعيه المصنوعة من زجاج الباركس هي الأوعية الأكثر ملائمة لهذا الغرض.

3 – البذور التي قد تكون ملوثه ببعض العناصر الصغرى مثل النحاس والخارصين.

تحضير المحاليل المغذية

1- محلول مغذي يتم تحضيره من ثلاث أملاح ويحتوي على ستة عناصر كبرى وهي (N, P, K, Ca, Mg, S).

2- محلول مغذي يتم تحضيره من أربعة أملاح ويحتوي على العناصر الكبرى السابقة. وفي كلا المحلولين تضاف العناصر الصغرى التي يحتاجها النبات بكميات صغيره وعلى شكل محلول واحد.

تستخدم العلاقات التالية عند تحضير المحاليل المغذية:

1- ppm = ملغم/ لتر

2 – المولار = وزن جزيئي/ لتر

3 – الوزن المكافئ = $\dfrac{\text{الوزن الجزيئي}}{\text{التكافؤ}}$

4 – مليمكافئ/ لتر = $\dfrac{\text{ppm}}{\text{الوزن المكافئ}}$

ومنه: ppm = مليمكافئ/ لتر × الوزن المكافئ

5 – مليمول/ لتر = $\dfrac{\text{ppm}}{\text{الوزن الجزيئي}}$

ومنه: ppm = مليمول/ لتر × الوزن الجزيئي

6 – مليمول/ لتر × التكافؤ = مليمكافئ/ لتر

00:36:07

مليمكافئ/ لتر

ومنه: مليمول/ لتر = ----------------

التكافؤ

1 – تحضير محلول مغذي مكون من ثلاث أملاح

تعتبر المحاليل المغذية المكونة من ثلاث أملاح من ابسط أنواع المحاليل المغذية، والأملاح الثلاثة المستخدمة في عملية التحضير هي:

1 – نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2.4H_2O$ وزنه الجزيئي: 236

2 – فوسفات البوتاسيوم KH_2PO_4 وزنه الجزيئي: 136

3 – كبريتات المغنيسيوم $MgSO_4.7H_2O$ وزنه الجزيئي: 246

يتم تحضير محلول 1 مولر من كل ملح كل على حده - فمثلا اذا أريد تحضير محلول مغذي بتراكيز:

نترات الكالسيوم 5 مليمول

فوسفات البوتاسيوم 5 مليمول

كبريتات المغنيسيوم 2 مليمول

نأخذ الوزن الجزيئي لـ $Ca(NO_3)_2.4H_2O$ وهو(236)غم ويذوب في دورق حجمي لتر ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر – تركيز المحلول النهائي 1 مولر.

نأخذ الوزن الجزيئي لـ KH_2PO_4 وهو (136)غم ويذوب في دورق حجمي لتر ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر – تركيز المحلول النهائي 1 مولر.

نأخذ الوزن الجزيئي لـ $MgSO_4.7H_2O$ وهو (246) غم ويذوب في دورق حجمي لتر ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر – تركيز المحلول النهائي 1 مولر.

وحيث أن: 1 مولر = 1000 مليمول = 1000 سم^3

إذن 1 سم^3 = 1مليمول

5 سم^3 = 5 مليمول

للحصول على 5 مليمول من $Ca(NO_3)_2.4H_2O$ نسحب 5 سم^3 من الدورق 1 مولر $Ca(NO_3)_2.4H_2O$ ويوضع في دورق حجمي فارغ حجم 1 لتر للحصول على 5 مليمول من KH_2PO_4 نسحب 5 سم^3 من الدورق 1 مولر KH_2PO_4 ويوضع في الدورق السابق

00:36:09

للحصول على 2 مليمول من $MgSO_4.7H_2O$ نسحب 2 سم^3 من الدورق 1 مولر $MgSO_4.7H_2O$ ويوضع في نفس الدورق السابق، ثم يملا هذا الدورق إلى النصف بالماء المقطر(ويضاف 1 سم^3 من محلول العناصر الصغرى + 1 سم3 من محلول الحديد) ويتم ضبط الـ pH للمحلول بعدها يكمل الدورق إلى العلامة بالماء المقطر.

نحسب تراكيز المحاليل السابقة بالمليمكافئ/ لتر للتأكد من حالة الاتزان حيث الكاتيونات يجب أن تساوي الانيونات:

1 – نترات الكالسيوم: 5 مليمول

مليمول × التكافؤ = مليمكافئ/ لتر

Ca^{+2} = 5 × 2 = 10 مليمكافئ/ لتر

NO_3^- = 5 × 2 = 10 مليمكافئ/ لتر

2 – فوسفات البوتاسيوم: 5 مليمول

K^+ = 5 × 1 = 5 مليمكافئ/ لتر

$H_2PO_4^-$ = 5 × 1 = 5 مليمكافئ/ لتر

3 – كبريتات المغنيسيوم: 2 مليمول

Mg^{+2} = 2 × 2 = 4 مليمكافئ/ لتر

SO_4^{-2} = 2 × 2 = 4 مليمكافئ/ لتر

يجب أن يكون هناك اتزان بين الأيونات في المحلول المغذي أي أن:

مجموع الكاتيونات يجب ان يساوي مجموع الانيونات

الملح	انيونات			كاتيونات		
	SO_4^{-2}	$H_2PO_4^{-}$	NO_3^{-}	Mg^{+2}	K^{+}	Ca^{+2}
$Ca(NO_3)_2$	-----	----	10	----	---	10
KH_2PO_4	----	5	-----	----	5	-----
$MgSO_4$	4	-----	-----	4	-----	-----
	19			19		

إذن مجموع الكاتيونات = مجموع الانيونات

لحساب التراكيز السابقة على شكل ppm:

المليمكافئ × الوزن المكافئ = ppm

Ca^{+2} = 10 × 20 = 200 ppm

NO_3^{-} = 10 × 62 = 620 ppm

K^{+} = 5 × 39 = 195 ppm

$H_2PO_4^{-}$ = 5 × 97 = 485 ppm

Mg^{+2} = 4 × 12 = 48 ppm

SO_4^{-2} = 4 × 48 = 192 ppm

تحضير محلول العناصر الصغرى:

يتكون محلول العناصر الصغرى (عدا الحديد) من الأملاح التالية التي تذوب جميعها في دورق واحد حجم لتر:

1 – حامض البوريك 2.86 غم/ لتر.

2 – كلوريد المنغنيز 1.81 غم/لتر.

3 – كبريتات الخارصين 0.221 غم/ لتر.

4- كبريتات النحاس 0.081 غم/لتر.

5 – حامض المولبيدك 0.021 غم/ لتر.

تحضير محلول الحديد:

يحضر بإذابة 0.5 غم من ترترات الحديد في 100 مل ماء مقطر.

2 – تحضير محلول مغذي مكون من أربعة أملاح:

من اهم عيوب المحاليل المغذية المكونة من ثلاث أملاح، أي محاوله لتغيير تركيز أي كاتيون يتبعه تغير في تركيز الانيون المرافق للكاتيون في الملح، ولهذا لا يمكن دراسة تأثير تغير التركيز لأيون معين لان الأيون المرافق له في الملح سيتغير تركيزه أيضا، من اجل ذلك وجدت المحاليل المغذية المكونة من أربعة أملاح والتي يمكن من خلالها دراسة تغير عنصر معين دون تغير تراكيز العناصر الأخرى، وهذه الأملاح هي:

1 – نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2$	5 مليمول
2 – نترات البوتاسيوم	KNO_3	5 مليمول
3 – فوسفات البوتاسيوم	KH_2PO_4	1 مليمول
4 – كبريتات المغنيسيوم	$MgSO_4$	2 مليمول

يتم تحضير 1 مولر من كل ملح كل على حده وذلك بإذابة الوزن الجزيئي لكل ملح في دورق معياري واحد لتر، ثم يؤخذ من الدورق الأول 5 سم^3 للحصول على 5 مليمول نترات كالسيوم، ويؤخذ من الدورق الثاني 5 سم^3 للحصول على 5 مليمول نترات البوتاسيوم ويؤخذ من الدورق الثالث 1 سم^3 للحصول على 1 مليمول فوسفات بوتاسيوم بينما يؤخذ من الدورق الرابع 2 سم^3 للحصول على 2 مليمول كبريتات مغنيسيوم، توضع هذه الأحجام في دورق معياري حجم لتر ثم تضاف العناصر الصغرى (يضاف1 سم^3 من محلول العناصر الصغرى + 1 سم3 من محلول الحديد) ويكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

مثال: حضر لتر واحد من محلول مغذي يحتوي على التراكيز التالية:

Ca: 160 ppm	NO_3^-:744 ppm
Mg: 48 ppm	SO_4^{-2}: 192 ppm
K : 195 ppm	$H_2PO_4^-$: 97 ppm

الحل: تحسب التراكيز على أساس المليمكافئ/ لتر للتأكد من حالة الاتزان:

المليمكافئ/ لتر = $\frac{ppm}{\text{الوزن المكافئ}}$

$Ca: \frac{160}{20} = 8$ مليمكافئ

$Mg: \frac{48}{12} = 4$ مليمكافئ

$K: \frac{195}{39} = 5$ مليمكافئ

$NO_3: \frac{744}{62} = 12$ مليمكافئ

$SO_4: \frac{192}{48} = 4$ مليمكافئ

$H_2PO_4: \frac{97}{97} = 1$ مليمكافئ

نحدد الأملاح التي سوف تستخدم في تحضير المحلول المغذي بشرط وجود حالة الاتزان بين الأيونات حيث الكاتيونات يجب أن تساوي الانيونات:

الملح	انيونات			كاتيونات		
	$H_2PO_4^-$	SO_4^{-2}	NO_3^-	K^+	Mg^{+2}	Ca^{+2}
$Ca(NO_3)_2$	----	---	8	----	---	8
$MgSO_4$	----	4	---	----	4	---
KNO_3	-----	----	4	4	----	---
KH_2PO_4	1	----	---	1	----	----
	17			17		

إذن مجموع الكاتيونات = مجموع الانيونات

نحسب التركيز على أساس المليمول:

$$\text{المليمول} = \frac{\text{المليمكافئ}}{\text{التكافؤ}}$$

$$Ca(NO_3)_2 = \frac{8}{2} = 4 \text{ مليمول}$$

$$MgSO_4 = \frac{4}{2} = 2 \text{ مليمول}$$

00:36:19

$$KNO_3 = \frac{4}{1} = 4 \text{ مليمول}$$

$$KH_2PO_4 = \frac{1}{1} = 1 \text{ مليمول}$$

يحضر بعد ذلك محلول 1 مولر من كل ملح من الأملاح الأربعة السابقة وذلك بإذابة الوزن الجزيئي لكل ملح في دورق حجمي لتر ثم يكمل كل دورق إلى العلامة بالماء المقطر.

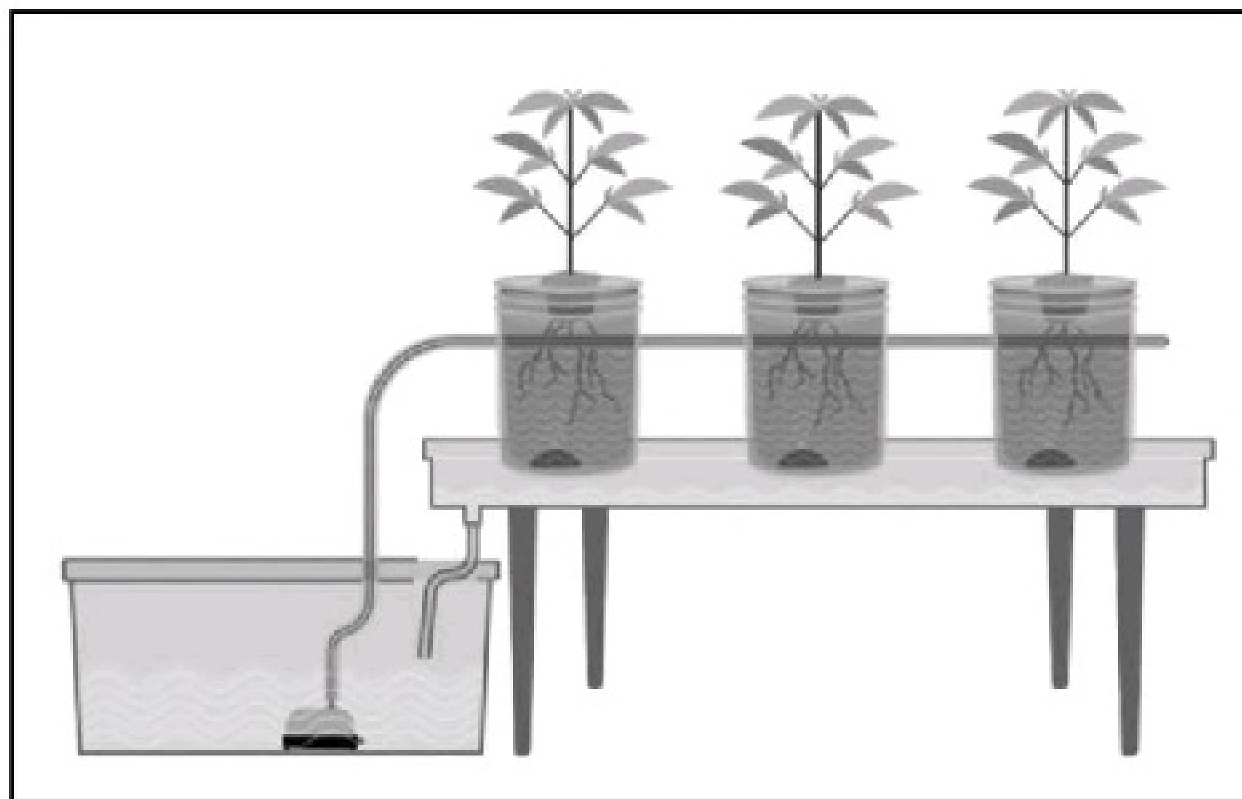
لتحضير 4 مليمول $Ca(NO_3)_2$: نسحب 4 مل من الدورق 1 مولر لملح $Ca(NO_3)_2$ ويوضع في دورق حجمي لتر

لتحضير ٢ مليمول $MgSO_4$: نسحب 2 مل من الدورق 1 مولر لملح $MgSO_4$ ويوضع في نفس الدورق الحجمي السابق

لتحضير 4 مليمول KNO_3: نسحب 4 مل من الدورق 1 مولر لملح KNO_3 ويوضع في الدورق الحجمي السابق

لتحضير 1 مليمول KH_2PO_4: نسحب 1 مل من الدورق 1 مولر لملح KH_2PO_4 ويوضع في الدورق الحجمي السابق

يملأ الدورق السابق إلى النصف بالماء المقطر ثم تضاف العناصر الصغرى (يضاف 1 سم^3 من محلول العناصر الصغرى + 1 سم3 من محلول الحديد) ويتم ضبط الـ pH وبعدها يكمل إلى العلامة بالماء المقطر.



الدرس العملي الثاني عشر
المزارع الغذائية

تعتبر التربة نظام طبيعي معقد وغير متجانس من الصعب السيطرة عليه عند إجراء تجارب تغذية النبات حيث إن هذه التجارب تتصف بالدقة والحساسية العالية لأي تأثير، لذلك فقد اتجهت الأنظار إلى إجراء هذه التجارب في أوساط صناعيه (غير التربة) والتي يمكن من خلالها التحكم بدرجه عالية في وسط النمو بما يحتويه من مغذيات كما ونوعا وقد اطلق على أوساط النمو هذه بالمزارع الغذائية.

المزارع الغذائية عباره عن بيئات أو أوعيه تنمى فيها النباتات (لا تحتوي على تربه) تحتوي على مجموعه من العناصر الغذائية الضرورية التي تحتاجها هذه النباتات بكميات معلومة وفي حالة توازن.

فوائد المزارع الغذائية

1- يمكن استخدام المزارع الغذائية عند إجراء التجارب الزراعية الخاصة بتغذية النبات لغرض:

أ – دراسة أعراض نقص عنصر غذائي على النبات بشكل واضح دون تأثير التربة أو الظروف المحيطة.

ب – دراسة مدى ضرورية عنصر غذائي معين لكل نبات.

ج – دراسة احتياج كل نبات من العناصر الغذائية وصور امتصاص هذه العناصر.

د – دراسة تأثير بعض العوامل مثل الـ pH والتهوية في معدل امتصاص العناصر الغذائية.

هـ – دراسة العلاقة بين العناصر الغذائية الموجودة داخل وخارج النبات.

2 – تستخدم المزارع الغذائية لغرض الإنتاج الزراعي التجاري خاصة في مجال انتاج النباتات البستنية كإنتاج الزهور ومحاصيل الخضر.

أنواع المزارع الغذائية

1- المزرعة المائية: Water culture

في هذا النوع من المزارع الغذائية يتم تنمية النبات في محلول مائي يحتوي على العناصر الغذائية الضرورية التي يحتاجها النبات (العناصر الغذائية الكبرى + الصغرى) بنسب معلومة وفي حالة اتزان في وسط النمو هو المحلول المغذي الذي يوضع في أواني أو حاويات مناسبه وتغطى هذه الأوعية بطبقه من الفلين أو الخشب الذي يحتوي فتحات أو ثقوب تنمو و تظهر النباتات من خلالها بينما تكون جذورها مغمورة في المحلول المغذي.

من اهم مزايا المزرعة المائية:

1 – يمكن دراسة تجارب تغذية النبات بدقه حيث يمكن التحكم بالتركيب الكيميائي للمحلول المغذي بدرجه عالية.

2 – دراسة المجموع الجذري بدقه حيث نستطيع الحصول عليه كاملا، كما يمكن مراقبة نمو الجذور وبشكل يومي.

اهم عيوب المزرعة المائية

1 – مكلفه اقتصاديا.

2 – تحتاج إلى تهويه وبشكل مستمر.

3 – تحتاج إلى تعتيم (ظلام كافي للمحلول المغذي).

4 – تحتاج إلى تبديل المحلول المغذي بين فتره وأخرى.

5 – عدم استقرار النباتات لعدم ثبات جذورها مما يعرضها للكسر في بعض الأحيان

النقاط الرئيسية الواجب مراعاتها عند تنفيذ المزرعة المائية:

1 – يجب أن تكون (الأوعية) الحاوية على المحلول المغذي والذي تنمو فيه الجذور مظلمه:

أ – لجعل الوسط ملائما لنمو الجذور.

ب- منع نمو الطحالب التي قد تنافس النباتات على المحلول المغذي بما فيه من عناصر غذائية.

ج – منع قيام الجذور بعملية الركيب الضوئي – تعرض الجذور للضوء يسبب تحول البلاستيدات البيضاء الموجودة في الجذور إلى بلاستيدات خضراء، ويتم ذلك باستخدام أوعيه خاصه غير منفذه للضوء أو تغليف الأوعية الحاوية على المحلول المغذي بمواد مانعه لاختراق الضوء.

2 – تجهيز فوهة الأوعية بشبكه من السلك الغير قابل للصدأ ويوضع على هذه الشبكة وسط لإنبات البذور كان يكون نشارة خشب أو قش، كما تجهز الأوعية باسلاك لإسناد النباتات أوقد يكون التسليك عن طريق ربط النباتات بسقف غرفة النمو التي تنمى فيها هذه النباتات.

3 – إمداد المحلول المغذي بالهواء باستخدام مضخة كهربائية وذلك لتوفير الأوكسجين اللازم لعملية تنفس الجذور.

4 – يجب المحافظة على درجة تفاعل المحلول المغذي (الـ pH) ثابته طوال فترة نمو النبات قدر الإمكان (5.5 - 6.5).

5 – يجب المحافظة على الضغط الأسموزي للمحلول المغذي ثابت طوال فترة نمو النبات (واحد ضغط جوي) وذلك بتعويض الماء المفقود بعملية النتح حيث الضغط الأسموزي عرضه للزيادة بسبب فقد الماء الناتج عن هذه العملية .

6 – يجب تهيأت الظروف الملائمة واللازمة لنمو النبات من درجات حراره ورطوبة وضوء.

7 –يجدد المحلول المغذي من وقت لأخر بسبب:

أ – زيادة تركيز بعض الأيونات في المحلول المغذي وانخفاض تركيز أيونات أخرى.

ب – للتخلص من التأثير الضار والسمي لبعض المواد التي يفرزها النبات أثناء قيامه بفعالياته الحيوية.

ج – التغيرات التي تحصل في درجة تفاعل المحلول المغذي (pH المحلول المغذي).

ويتم تحديد المحلول المغذي بتفريغ المحلول القديم من فتحه اسفل الوعاء ثم يغسل الوعاء بالماء المقطر عدة مرات ويملأ بعدها بالمحلول المغذي الجديد.

2 – مزارع الوسط الصلب:

في هذا النوع من المزارع الغذائية يتم تنمية النبات في وسط صلب خامل (غير فعال) لا يحتوي على العناصر الغذائية ولا يلعب أي دور في تغذية النبات والغرض منه هو فقط تثبيت النبات وتهيأ الوسط المظلم للجذور بينما يستمد النبات ما يحتاجه من غذاء (عناصر غذائية كبرى + صغرى) من المحلول المغذي الذي يضاف على هذا الوسط الصلب بطرق مختلفة وبصوره مستمرة.

من اهم مزايا مزارع الوسط الصلب

1 – عدم الحاجه إلى أسلاك أو دعامات لتثبيت النبات حيث الوسط الصلب يقوم بهذه الوظيفة

2 – لا تحتاج إلى تهويه فالفراغات الموجودة بين المواد المكونة للوسط الصلب تقوم بتوفير التهوية اللازمة.

3 – لا تحتاج إلى توفير وسط مظلم (لا تحتاج إلى تعتيم).

4 – تكاليفها الاقتصادية اقل من المزرعة المائية.

من اهم عيوب مزارع الوسط الصلب

1 – صعوبة الحصول على مجموع جذري كامل.

2 – لا يمكن مراقبة أو تتبع نمو الجذور.

00:36:27

3 – صعوبة الحصول على مواد نقيه للوسط الصلب (رمل نقي، معادن طين طبيعية) خاليه من العناصر الغذائية وخصوصا العناصر الصغرى منها.

هناك عدة أنواع من مزارع الوسط الصلب منها:

أ- مزارع الرمل:

الوسط الصلب المستخدم في المزرعة الرملية هو الرمل النقي والذي يستخدم لتثبيت النبات فقط وليس له دور في تغذية النبات، وللحصول على الرمل النقي الخالي من العناصر الغذائية نقوم بغسل الرمل العادي بمحلول حامض الهيدروكلوريك المخفف (HCl) ثم يغسل بعد ذلك بالماء المقطر عدة مرات للتخلص من الحامض المتبقي بحيث لا يبقى أي اثر للحامض، كما يفضل استخدام الرمل المتوسط الحجم (قطر الرمل الخشن لا يزيد عن 2 ملمتر) حيث يؤثر قطر حبيبة الرمل على درجة التهوية وتوفير الأوكسجين اللازم للجذور كما يؤثر على مدى حفظ الحبيبات للمحلول المغذي كأغلفه حول هذه الحبيبات.

ب- مزارع الحصى:

في هذا النوع من المزارع يستخدم الحصى (قطر الحبيبات اكثر من 2 ملمتر) كوسط لتثبيت النبات فقط، بينما يحصل النبات على غذائه من المحلول المغذي الذي يتم إضافته إلى هذا الوسط

ج – مزارع الطين الطبيعي:

يستخدم الطين الطبيعي (عادة الفيرموكولايت – Vermiculite) كوسط صلب وذلك بعد إزالة الكاتيونات المدمصه بواسطة أيون الهيدروجين ثم يشبع الطين بعد ذلك بالعناصر المراد دراستها، وتعتبر مزارع الوسط الصلب التي يستخدم فيها الطين الطبيعي اقرب المزارع الغذائية للتربة الطبيعية واكثر تمثيلا لها.

يضاف المحلول المغذي إلى الوسط الصلب بعدة طرق منها:

أ – إضافة المحلول المغذي مباشرة إلى سطح المزرعة على شكل دفعه واحده في الوقت المحدد بعد أن يفرغ المحلول القديم.

ب – إضافة المحلول المغذي إلى سطح المزرعة ولكن بالتنقيط نقطة، نقطة.

ج – إضافة المحلول المغذي بشكل مستمر بواسطة أنبوبه شعرية تمتد داخل الوسط الصلب (اسفل السطح) متصلة بخزان يحتوي على المحلول المغذي ويتم ضخ هذا المحلول عبر الأنبوبة الشعرية باستخدام مضخة خاصه

الدرس العملي الثالث عشر

السعة التبادلية الكاتيونية للجذور

تلعب الجذور دور مهم في حياة النبات من خلال الوظائف المهمة التي تؤديها وهذه الوظائف هي:

1 – امتصاص الماء.

2 – امتصاص العناصر الغذائية وتحديد كمية ونوع العناصر الممتصه.

3 – تثبيت النبات في التربة.

4 – تقوم بعض الجذور بخزن المواد الغذائية، كما تقوم جذور نباتات أخرى بتصنيع وإنتاج بعض المواد.

تمتاز الجذور بخواص غروية مما يكسبها خواص كهربائية كما هو الحال في حبيبات الطين والدبال وهذه الخاصية تمكنها من القيام بعمليات التبادل الأيوني، فقد وجد أن سطح الجذر يحمل شحنات كهربائية الداخلية منها سالبة الشحنة والخارجية موجبة الشحنة وهذا يعني أن للجذور سعه تبادلية كاتيونية.

السعة التبادلية الكاتيونية للجذور: هي مقدار الكاتيونات بالمليمكافئ الموجود في صورة متبادلة على اسطح 100 غم جذور جافة، وتختلف السعة التبادلية الكاتيونية للجذور من نبات لآخر اعتمادا على

1- عمر النبات – حيث تنخفض السعة التبادلية للجذور بزيادة العمر.

2 – نوع النبات – فجذور نباتات ذوات الفلقتين (مثل البقوليات) ذات سعة تبادلية كاتيونية اعلى من جذور نباتات ذات الفلقة الواحدة (مثل الحبوب).

3 – درجة الحرارة – تزداد السعة التبادلية للجذور بزيادة درجة الحرارة إلى حد معين

4 – نوع الوسط الغذائي وتوالي عمليات التبادل يزيد من السعه التبادلية للجذور.

تتراوح قيم السعه التبادلية الكاتيونية لجذور النباتات بين 10 – 70 ملي مكافئ/ 100 غم جذور جافة، وبشكل عام فان نباتات ذوات الفلقتين تمتلك سعة تبادلية كاتيونية ضعف ما تمتلكه نباتات ذوات الفلقة الواحدة، كذلك فان الجذور ذات السعة التبادلية العالية (مثل البقوليات) تستطيع امتصاص الكاتيونات الثنائية أو الثلاثية بدرجة اكبر من امتصاص الكاتيونات الأحادية بينما الجذور ذات السعة التبادلية القليلة (مثل الحبوب) تستطيع امتصاص الكاتيونات الأحادية بدرجة اكبر من امتصاص الكاتيونات الثنائية أو الثلاثية وهذا يفسر استفادة النباتات البقولية ذوات الفلقتين (مثل البرسيم) من

الفوسفات الصعبة الذوبان المتواجدة في الترب الكلسية حيث البقوليات تمتلك سعة تبادلية عالية تمكنها من امتصاص الكالسيوم الثنائي وتترك الفوسفات في صورة صالحة للامتصاص بسهوله.

تقدير السعة التبادلية للجذور:

هناك عدة طرق لتقدير السعة التبادلية الكاتيونية للجذور إلا أن اسهل هذه الطرق وأكثرها تداولا تتم بتشبع الشحنات السالبة للجذر بشحنات موجبه يسهل تقديرها فيما بعد وذلك عن طريق طرد هذه الأيونات الموجبة إلى المحلول، وعادة تشبع شحنة الجذر السالبة بأيون الصوديوم والذي يتم تقديره باستخدام جهاز قياس العناصر باللهب Flame photometer.

وتتم عملية التقدير بوضع وزن معلوم من الجذور في محلول يحتوي على ملح كلوريد الصوديوم NaCl بحيث تغطى الجذور بالمحلول بشكل كامل، في هذه الخطوة يتم إزاحة جميع الأيونات الموجبة الموجودة على سطح الجذر ويحل محلها الصوديوم، بعد ذلك يتم إخراج الجذور من المحلول وتوضع في محلول حامضي مخفف (ماء مقطر + حامض نتريك مخفف)، في هذه الخطوة يتم طرد أيونات الصوديوم الموجودة على سطح الجذر إلى المحلول عن طريق استبدالها بأيونات الهيدروجين، ولغرض حساب السعة التبادلية الكاتيونية يؤخذ حجم معلوم من المحلول الأخير إلى جهاز الـ Flame ويقدر فيه تركيز الصوديوم:

السعة التبادلية الكاتيونية للجذور بالمليمكافيء/ 100 غم جذور جافة =

$$\text{ppm}\ (\text{بعد التسقيط}) \times \frac{\text{حجم المحلول}}{1000} \times \frac{1}{23} \times \frac{100}{\text{وزن عينة الجذور الجافة}}$$

كما يمكن تقدير السعة التبادلية الانيونية للجذور بنفس المحلول المستخدم في تقدير السعة التبادلية الكاتيونية وذلك عن طريق اخذ حجم معلوم من هذا المحلول ومعايرته مع محلول نترات الفضة وبوجود دليل كرومات البوتاسيوم وذلك لغرض تقدير تركيز أيون الكلوريد حيث أن أيون الكلوريد المضاف على شكل NaCl حل محل الانيونات على سطح الجذر:

السعة التبادلية الانيونية للجذور بالمليمكافيء/ 100 غم جذور جافة =

$$\text{حجم } AgNO_3 \times \text{عياريته} \times \frac{\text{حجم المحلول الكلي}}{\text{حجم المحلول المستخدم}} \times \frac{100}{\text{وزن عينة الجذور الجافة}}$$

00:36:33

المصادر

- خليل، نبيل فاضل ١٩٩٣. الكيمياء التحليلية. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي- جامعة الموصل – مديرية دار الكتب للطباعة والنشر.
- راين، جون واسطيفان جورج وعبد الرشيد ٢٠٠٣. تحليل التربة والنبات. المركز القومي للبحوث الزراعية في المناطق الجافه. حلب، سوريا.
- ريكاني، شكري إبراهيم. ٢٠١٨. تربة الرايزوسفير. دار الكتب العلمية. بيروت
- شابمان، دز هومر وباركر. ف. برات ١٩٩٥. طرق تحليل الترب والنباتات والمياه. ترجمة د. فوزي محمد الدومي. جامعة عمر المختار، دار الكتب الوطني، بنغازي.
- الشبيني، جمال محمد ٢٠٠٥ . تكنولوجيا حقن الأسمدة. المكتبة المصرية، لوران، الإسكندرية. راهي، حمد الله سليمان و إسماعيل إبراهيم خضير ومحمد علي جمال العبيدي، محمد علي جمال. ١٩٩١. التحليل الكيميائي للتربة دار الحكمة للطباعة والنشر، الموصل.
- قرواني، محي الدين و عزيزه عجوري وفاطمة الجاسم و هناء قصاص. ٢٠٠٠. جامعة حلب مطبعة المدينة، دمشق.
- محمد، عبد العظيم كاظم. ١٩٧٧. مبادئ تغذية النبات. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي – جامعة الموصل – مؤسسة دار الكتب للطباعة والنشر.
- محمد، عبد العظيم كاظم. ١٩٨٥ . علم فسلجه النبات. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي – جامعة الموصل – دار ابن الأثير للطباعة والنشر.
- الموصلي، مظفر احمد. ٢٠١٣. خصوبة التربة وتغذية النبات. دار دجلة. الطبعة الأولى، الأردن. ٢٠١٦. الطبعة الثانية
- الموصلي، مظفر احمد والخفاجي قحطان درويش. ٢٠١٣. أساسيات التربة العامة. دار دجلة. الأردن. الطبعة الأولى، الأردن. ٢٠١٦. الطبعة الثانية
- الموصلي، مظفر احمد. ٢٠١٦. تحليل التربة والماء والنبات والهواء. دار اليازوري. الأردن
- الموصلي، مظفر احمد. ٢٠١٨. الكامل في الأسمدة والتسميد. دار الكتب العلمية.

00:36:35

• مينكل، ك و ى. أ.كيربي. ١٩٨٢. مبادئ تغذية النبات. ترجمة الدكتور سعد الله نجم النعيمي. مؤسسة دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل.

• نسيم، ماهر جورجي. ٢٠٠٥. خصوبة الأراضي والأسمدة. منشأة المعارف، الإسكندرية. جمهورية مصر العربية.

• النعيمي، سعد الله نجم. ١٩٩٩. الأسمدة وخصوبة التربة. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي – جامعة الموصل – مديرية دار الكتب للطباعة والنشر.

• النعيمي، سعد الله نجم. ٢٠١١. مبادئ تغذية النبات. مترجم. دار ابن الأثير للكتب والنشر. جامعة الموصل

• Abdel-Elrazek, M. M. F. Choneim, G. S. El-Charably, and K. Abd-Ellah. 1984. Micronutrients status in soils of upper Egypt. III. Iron. J. Agric. Sci. As. Univ. 15: 60 – 70.

• Abo-Rady, M. D. K. 1988. Effect of iron deficiency on growth, micronutrients status and chlorophyll content of vinca rosa grown in calcareous soils. Arid soil Res. Rehab. 2: 275 – 283.

• Al-Redhaiman,K.N.(2000).Nitrate accumulation in plant and hazards to man and livestock health:A Review .j. King Saud Univ. (Agric. Science)12 (2),143-156.

• Ali. K.; Laila (2001). Use of improved organic fertilizers as nutrients source. PH.D. Thesis, Dept. of Soil Science, Fac. Of Agric. Ain shams Univ., Cairo, Egypt.

• Al-Uqaili, J. K., A. A. Al-Hadethi, and A. K. Jar-allah. 2001 Adsorption and desorption or iron in calcareous soils. Basrah. J. Agric. Sci. (Accepted for publication).

• Al-Zubaidi, A., I. Bashour, T. Darwish and M. Safieddin (2011) Content of Different Forms of Potassium in Lebanese Soils. *International potash institute*, No. 28.

• American –Eurasian J.Agric. Agricultural production.Agricultural Education Publishing..Environ.Sci.10(4):593-599.

- Angelakis KA (2007) The isoenzyme 7 of tobacco NAD(H)-dependent Glutamate dehydrogenase beta subunit levels. Planta 222:167-180.
- Barber,S.A.and Chen,Jen- Hshuan.1990. Using amechainstic model to evaluate the effect of soil PH on phosphorus uptake. Plant and Soil 124:183-186.
- Baruah, T. C. and Barthaakur, H. P. (1997). A Text Book of Soil Analysis. Vikas Publishing House PVT Ltd. India.
- Baruah,T.C. and H.P. Barthakur (1999). A Textbook Of Soil Analysis. Vikas publi-shing House,Delhi -110 032.
- Bezdieck, D. F.; J.F. Power; D. R. Keeney and M. J. Wright. (1984). Organic farming. Current technology and its role in sustainable agriculture. Amer, Soc. Of Agron. Crop Sci. of Amer. And Soil Sci Soc of Amer. Spec. Pub. No 461 Am Soc. Of Agron. Madison.
- Bhardwaj, K.K. and A.C. Guar. (1985). Recycling of organic wastes.
- Bidwell, R. G. S. 1979. Plant Physiology. 2nd ed. Macmillan Pub. Co. Inc., N. Y.
- Black, C. A., (1965). Methods of soil analysis, Part II: Chemical properties, No. 9 in series, Amer. Soc. Agron. Inc. USA.
- Boardman, N.K. 1975. Trace elements in photosynthesis, P.199-212.In: Trace elements in soil-plant- animal system Nicholas, Ed., EGAND.J.D.and EGANA.R. Acadamic press.
- Brar,M.S.,2001.Potassium fertility in cotton growing soils of India & its influence on yield & quality of cotton. In:N.S.Pasricha & S.K. Bansal(Eds).Potassium in Indian agriculture, Potash Research Institute of India/ IPI, Basel, Switzerland,pp.241-260.
- Brown,P.H.,N.Wimmer, M.A. Basil,E.S. Ruiz, J. Hu,H. Pfeffer, F.Dannel and V.Romheld. 2002 Boron in Plant Biology. Plant Biology, 4:205-223.

• Camacho-Cristobal J.J, A. Gonzalez-Fontes 2007. Boron deficiency Decreases plasmalemma H^+-ATPase expression and nitrate uptake and promotes ammonium assimilation into asparagin in tobacco roots.Plant. 226:443-451.

• Camberato, J.J. and W.L. Pan. 2000. Bioavailability of Calcium, magnesium, and sulfur. In: Handbook of Soil Science. Malcolm E. Sumner (edi). 2000. CRS. Press. New York.

• Carreira,J.A. and K.L. Lajlha. 1997. Factors effecting phosphate sorption along a mediterranean dolomitic soil and vegetation chronosequence J. Soil. Sci. Soc. 48:139-149.

• Carreira,J.A., and K.L. Lajlha(1997).Factors effecting phosphate sorption along a mediterranean dolomitic soil and vegetation chronosequence J. Soil. Sci. Soc. 48:139-149.

• Carreira,J.A., and K.L. Lajlha(1997).Factors effecting phosphate sorption along a mediterranean dolomitic soil and vegetation chronosequence J. Soil. Sci. Soc. 48:139-149.

• Castro,B.and J.Torrent. 1995. Phosphorus availability in calcareous and inceptisol in relation to fertilizer type and soil properties.Fert. Res. 40:109-119.

• Chen, Y., and P. Barak. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. Adv. Agron. 20: 217 – 240

• Curtin,Di, J.K. Sysers, (2001). Lime-induced changes in indices of soil phosphate availality puplisued in Soil. Sci. Soc. Am. J. 65:147-152.

• Dahama, A.K. (1999). Organic farming for sustainable agriculture, Agro development in biological control of weeds. Crop Protection Vol:8,22

• Dell, B. and L. Huang. 1997. Physiological response of plants to low boron. Plant Soil 193:103–120. stress. Colloids Surf. Biointerf., 57:69-74.

• Delwiche,C. C, Cycling of elements in the biosphere In ; Inorganic Plant Nutriention, Encyel. Plant Physiol. New Series

Vol 15, edited by Lachti.A. and Bieleski, R. L, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo,P 212-238,1983.

• EFRC (1984). The Soil: Assessment, Analysis and Utilization in organic agriculture. Elm Farm Research center.

• El-Damaty A.and T.A. El- Baradree (1959). Results of prolonged use of fertilizers at Bahteern. Symposium of Fertilizers and Fertilization in Egypt..Egy.soc.of Soil Sci 71-83.

• Elgala, A.M,; A. Metually and R.N. Khalil (1978). The effects of humic acid and Na EDDHA on the uptake of Cu and Zn by barley in sand culture. Plant and Soil, 45:41-49.

• Epstein, E. 1972. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. John Wiley & Sons, Inc., N. Y.

• exhibits high deaminating and low aminating activity. Plant Physiol 145:1-9.in rice (*Oryza sativa* L.). J Exp Bot 58:2319-2327.

• FAO (1967). Part of the First Session of the FAO Pannal of Experts on integrated Pest Control Rome

• FAO (1982). Organic materials and soil productivity in the near east. FAO soil Blletin 45. UN.Rome.

• FAO (1997). Proceedings on Bio-organic Farming System for Sustainable Agriculture. Cairo Egypt.

• Fleming, G.A. 1980. Essential Micronutrients. I. Boron and molybdenum. *In* Applied soil trace elements. Edited by Davies, B.E. pp.155-165. John Wiley & Sons, New York.

• Fleming, G.A. 1980. Essential Micronutrients. I. Boron and molybdenum. *In* Applied soil trace elements. Edited by Davies, B.E. pp.155-165. John Wiley & Sons, New York.

• Goldberg, S. 1993. Chemistry and mineralogy of boron in soils. *In* Boron and its role in crop production. Edited by Gupta, U.C. pp. 3-44. CRC Press, Boca Raton, Florida.

• Gupta,U.C.(1999). Methods of analysis of soils, plants, water, and fertilizer.New Delhi. 110048(India).

• Hauch, R. D. Quantitative estimates of nitrogen _Cycle-processes Concepts and review. In: Nitrogen -15 in Soil Plant Studies, IAEA, Vienna. p.65- 80,1970.

• Havlin, J. L. ;J. D. Beaton, S. L. Tisdal and W. L. Nelson.2005. Soil fertility and fertilizers. 7^{th} Ed. An introduction to nutrient management.Upper Saddle River, New Jersey.

• Havlin, J.L., J.D.Beaton, Tisdale, S.L., and W.L. Nelson(2005). Soil fertility and fertilizers 7^{th} edition. Prentice. Hall.Inc.

• Havlin,J.L. & D.G.Westfall. 1985. Potassium release kinetics & plant response in calcareous soils S.S.S.Am.J.49:366-370.

• Havlin,J.L.,J.D. Beaton,S.L. Tisdale & W.L. Nelson. 2005. Soil fertility & fertilizers: 7^{th} Ed. An introduction to nutrient management. Upper Saddle River, New Jersey.

• He, Z. L., D. V. Calvert, A. K. Alva, D. J. Banks, and Y. C. Li. 2003. Thresholds of leaf nitrogen for optimum fruit production and quality in grapefruit. *Soil Science Society of America Journal* 67: 583–588.

• Heming, S.D., and D.I. Rowell. (1985a). Soil structure and potassium supply. The release of potassium from soil aggregates to Ca – resin. J. Soil Sci. 36: 45-60.

• Hopkins, William G. and Norman P.A. Huner.2004. Introduction to plant physiology.3^{rd}(Ed).John Wiley & Sons,Inc.The university of w Karley, Alison J. and Philip J.White.2009.

• Hu, H. and P.H. Brown. 1997. Absorption of boron by plant roots. Plant Soil. 193:49-58.

• Huang L,Z.Ye,R.W.Bell and B.Dell 2005 .Boron nutrition and chilling Tolerance of warm climate crop species.Annals of botany, 96 (5):755-767.

• Jackson, M. L. (1958). Soil Chemical Analysis Ed. Prentie Hell, Inc.

- Jackson, M. L.: (1958) *Soil chemical analysis*. Verlag: Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ. 498 S. DM 39.40
- Johnston, A.E. 2003, *Understanding potassium and its use in agriculture*, European Fertilizer.
- Johnston, A.E. 2003. Understanding Potassium and it's use in Agriculture. European Fertilizer Manufacturers Association. Potassium and soil. 23-28.
- Johnston,A.E.,P.R.Poulton &J.K.Syers.2001. Phosphorus, potassium & sulphur cycles in agricultural soils. Proceedings No.465,The International fertilizer society, York,UK,44pp.
- Jorda, J., J. Sanchez-Anderu, and M. Juarez. 1992. Effect of temperature on the kinetics of FeEDDHA sorption on a calcareous soil. Soil Sci. 153: 45 – 52.
- Karley, Alison J. and Philip J.White.2009. Moving cationic minerals to edible tissues: potassium, magnesium, calceium. current opinion in plant biology 12: 291 – 298.
- Katyal, J. C., N. S. Randhawa. 1983. Micronutrients. Iron. Fert. and Plant Nutr. Bull. 7. FAO, Rome, Italy.
- Kaushik, K., S. K. Sanyal, and D. Shivali.(2002). Potassium release and fixation of mineralogically different soils of India. Symposium no. 28. p: 983-1 – 983-10.
- Keller M, Arnick KJ, Hrazdina G (1998) Intercation of nitrogen availability during bloom and light intensity during veraison. I. effects on grapevine growth, fruit development, and ripening.
- Khorsandi, F. 1994. Sulfuric acid effects on iron and phosphorus availability in two calcareous soils. J. Plant Nutr. (USA). 17: 1611 – 1623.
- Kichey T, Heumez E, Pocholle P, Pageau K, Vanacker H, Dubois F, Le Gouis J, Hirel B (2006) Combined agronomic and physiological aspects of nitrogen management in wheat (*Triticum aestivum* L.). Dynamic and integrated views highlighting the central role of the enzyme glutamine.

- Kirby EG, Gallardo F, Man H, El-Khatib R (2006) The overexpression of glutamine synthetase in transgenic poplar: a review. Silvae Genetica 55:278-284.
- Korb, N., C.T. Jones and J. Jacobsen (2002). Potassium Cycling, Testing, and Fertilizer Recommendations. Nutrient Management Module No. 5. Montana State University, Extension service. 4449-5.
- Kot, F.S. 2009.Boron Sources, Speciation and its potential impact on health.Reviews in Environmental Science and Biotechnology 8: 3-28.
- Kovira A.D and davey C.B (1974) biology of the rhizosphere.The plant root and its environment, edited by E.W. Carson. University Press of the Virginia. Charlottesville,P.153-204.
- Kundu, M.C., Hazra, G.C., Biswas, P.G., Mandal, S. and Ghosh G.K. (2014) Forms and distribution of potassium in some soils of Honghly district of West Wengal. J. of crop and weed.10 (2): 31-37.
- Lam HM, Coschigano KT, Oliveira IC, Melo-Oliveira R, Coruzzi GM (1996) The moleculargenetics light. Plant Physiol Biochem 34:609-620.
- Leyshon, A.J.and J.Yih-Wu.1993. Boron Toxicity and irrigation management.In U.C.Gupta (ed).Boron and its role in crop
- Liebig, J. Organic Chemistry and its Application to Agriculture and Physiology.Vieweg Vielag. Braunschweig.8^{th} Ed, 1841.
- Liebig, J. Organic Chemistry in its Application to Agriculture and Physiology.Vieweg Vielag. Braunschweig.8^{th} Ed, 1865.
- Lindsay, W. L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. John wiley & Sons. Inc., N. Y.

- Lindsay, W. L., and A. P. Schwab. 1982. The chemistry of iron in soils and its availability to plant. J. Plant Nutr. 5: 821 – 840.
- Lindsay, W. L., and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421 – 425.
- Lindsay, W.L.1979. Chemical equillibria in soil. John wiley and Sons,New York. Chichester. Brisbane. Toronto.
- Loeppert, R. H., and E. T. Clark. 1984. Reactions of Fe^{2+} and Fe^{3+} in calcareous soils. J. Plant Nutr. 7: 149 – 163.
- Loomis, W.D., and R.W. Durst.1992. Chemistry and Biology of Boron. Biofactors. 3(4): 229-239.
- Malakoti, M.J. and B.Mostashareazadeh.2008.The role of boron in Increasing the quantitative and qualitative improvement of Agricultural production.Agricultural Education Publishing. Karaj.Iran.pp.85.
- Mam Rasool, G. A. 2008. Physico–chemical behaviors of potassium in predominant soil orders of Sulaimani governorate. Ph.D. Thesis, Agriculture College -Univ. of Sulaimani. Iraq.
- Mandal, D; Dey, S. K. and Baruah, T. C. (2011) Forms of potassium and their distribution in rubber growing soils of Tripura. *Ann. Pl. Soil Res*. 13(2):75-79.
- Mareno, E.C., W.L. Lindsay, and G. Osborn.(1960). Reactions of dicalcium phosphate dihydrate in soils. Soil Sci. 90:58- 68.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic press. San Diego. NY.
- Marschner, H. 1995.Mineral Nutrition of Higher Plants. 2^{nd}.London.UK:Academic press.
- Martin, P. 2002. Micro-nutrient deficiency in Asia and the pacific Borax Europe limited, UK, AT, 2002. IFA.Regional Conference for Asia and the Pacific, Singapore, 18-20

- McDowell,R.W., N.,Mahien,P.C.,Brookes, P.R,poulton(2003). Mechanisms of phosphorus solubilisation in a limed soil as a function of PH. 51: 685-692.
- Mehmedany, L. A. M. (1999). Potassium physico–chemical behaviors for some calcareous soils in Iraqi-Kurdistan region. Msc. Thesis, Agriculture College -Univ. of Duhok.
- Mengel, K. 1994. Iron availability in plant tissues – iron chlorosis on calcareous soils. Plant Soil 165: 275 – 283.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby (1982). Principles of plant nutration 3rd edition. International Potash Institute Bern, Switzerland.
- Mengel, K., M. Th. Breininger, and W. Bubl. 1984. Bicarbonate, the most important factor inducing iron chlorosis in vine grapes on calcareous soil. Plant Soil 81: 333 – 344.
- Mengel,K. and E.A.Kirkby(2001). Principles of plant nutrition. 5th ed. Kluwer. Academic publisher.
- Merhaut, D.J. 2007. magnesium. In: Barker, A. V. and D. J. Pilbeam. (Ed) Handbook of plant nutrition. Taylor and Frances group CRS. New York. Pp. 145 – 182.
- Metson,A.J.1974. Magnesium in New Zealand Soil.I some factors governing the availability of soil magnesium. A review. N.Z.J. Exp. Agri. 2: 277-319.
- Moeinian, M. R., Z. Kaveeh and H. Javad.2011.Effect of Boron Foliar Spraying Application on Quality characteristics
- Morison, J. I. L. and M. D. Morecroft.2006. Plant growth and climate change. Black Well Pub. Ltd.,Oxford, UK.
- Mortvedt, J. J., P. M. Giordni, and W. L. Lindsay. 1972. Micronutrients in Agriculture.. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison, Wis.
- Mos Hopkins, William G. and Norman P.A. Huner.2004. Introduction to plant physiology.3rd(Ed).John Wiley & Sons,Inc.The university of western Ontario.

- Moving cationic minerals to edible tissues: potassium, magnesium, calceium. current opinion in plant biology. 12: 291 – 298.
- Muñoz, J. C. N.; Estévez, M. A.; Novo, C. P.; Periago, J. E. P. Diffusion-induced changes on exchangeable and organic bound copper fractions in acid soil samples enriched with copper. Geoderma, v.148, p.85-90, 2008. http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.09.009.
- NAD(H)-dependent Glu dehydrogenase activity in transgenic tobacco via alteration of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. Annu Rev Plant Physiol Physiol 101:1249-1255.
- Nejad, S. D.; T.S. Nejad and S. Lack. 2010. Study effect drought stress and different levels potassium fertilizer on K accumulation in corn. Nature and science, 8(5), 23-27.
- Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Kenney, 1982. Methods of soil analysis part (2). Agronomy No.9, Madison, U.S.A.
- Pansu, Marc and J. Gautheyrou. 2006. Handbook of Soil Analysis "Mineralogical, Organic and Inorganic Methods".springerverlag berline. Printed in the Netherlands.
- Parr, J.F.; R.l. Papendirich, Honlick and D. Colacicco (1989). Use of pyllospHere of growing plants. J. Environ. Sci: 609-613.
- Plessner, O., A. Dourat, and Y. Chen. 1992. Tolerance to iron deficiency of lupins grown on calcareous soils. Aust. J. Agric. Res. 43: 1187 – 1195.
- Prasad, R., and J.F Power. 1997. Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture. Lewis Publisher, New York.
- Price, C. A., H. E. Clark, and H. E. Funkhouser. 1972. Functions of micronutrients in plants. In: J. J. Morvedt *et al.*, (eds). Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison, Wis.
- Primikirios NJ, Loulakakis KA, Lefort F, Roubelakis-Angelakis KA (2000) Nitrogen metabolism.
- production. CRC Press, Boca Raton, Florida,USA,207-226.

• Purnell MP, Skopelitis DS, Roubelakis-Angelakis KA, Botella JR (2005) Modulation of higherplant.
• Rasheed, Muhammed ; Tariq Mahmood ; M. Shafi Nazir ; Waqas Ahmad Bhutta and Abdul Ghffar. 2004. Nutrient Efficiency and Economics of Hybrid Maize Under Different Planting Methods and Nutrient Levels. Int. J. of Agric. Biol 1560 – 8530: 922 – 925.
• Rashid, d. A., E. Rafigue, J. Din, S. M. Malik, M. Y. Arain. 1997. Micronutrients deficiencies in rainfed calcareous soils of Pakistan. I. Iron chlorosis in the peanut plant. Commun. Soil Sci. Plant Anul. (USA) 28: 135 – 138.
• Redinbaugh MG, Campbell WH (1993) Glutamine synthetase and ferredoxin-dependent Glutamate.
• Rehm, George. 2008. Calcium and Magnesium: The Secondary Cousins. Article, University of Minnesota: 1 – 7.
• Reinhard, C. and I. Wolff (1986). Rückstünde an pflanzenchutzmittel bei alternative und konventionell angebautem obst und Gemüse. Bioland 2/86: 14-17.
• Rich, C.I.,1972. Potassium in soil minerals.proc. colloquium IPI 9:15-31.
• Richard, L. A. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and AlKali. Soils. U. S. A. Hand Book No.60, P.160.
• Robbins C.W., D.T. Westermann, and L.L. Freeborn (1999). Phosphorus Froms and extractability from three source subsoil. Soil. Sci. Soc. Am. J. 63: 1717-1729.
• Robert, M.J., Guyot, J. and M., Hervio (1990). Soil mineralogy and potassium dynamic. Potash Review. No. I, Sub. 5
• Russell, E. W. 1973. Soil Conditions and Plant Growth. 10th ed. Longman, N. Y.
• Ryan, J., and S. N. Hariq. 1983. Transformation of incubated micronutrients chelates in calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 806 – 810.

• Ryan, J., G. Estefan and A. Rashid. 2002. A Soil and Plant Analysis Manual. Second Edition. ICARDA\ Syria.

• Ryan, J., M. Hamze, R. Shwayri, and S. N. Hariq. 1985. Behavior of iron-supplying materials in incubated calcareous soils. J. Plant Nutri 8: 425 – 436.

• Sakal, R., A. P. Singh, B. P. Singh, R. B. Shinha, S. V. Jha, and S. P. Singh. 1985. Distribution of available micronutrient cations in calcareous soil as related to certain soil properties. J. Indian Soc. Soil. Sci. 33: 672 – 675.

• Sauerbech, D. Which heavy metal Concentration in plants should not be exceeded in order to avoid detrimental effects on their growth. Landw. Forsch. Sonced

• SchupHan, W. (1975) Yield maximisation versus biological value. Qual Plant 24:281-310.

• Seheffer, F and Schachtschabel, P (G) Textbook of Soil Science, 11th edition, F. Enke.Verlag. Suttgart,1982.

• Sen, S. and W.C. Bonde (1962). Effect of time of applications of FYM at different levels, J.Ind. Soil Sci. V: 10, 61-63,

• Shuman, L. M. 1980. Effect of soil temperature moisture, and air drying on extractable manganese, iron, copper, and zinc. Soil Sci. 130: 336 – 343.

• Simard, R.R.; C.R. De Kimpe and J. Zizka. 1992. Release of potassium and Magnesium from soil fractions and its kinetics. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1421-1428.

• Sinclair, A. H. 1981.Availability of magnesium to ryegrass from soils during intensive cropping in the glass house. J.Agric. Sci. Cam. 96:635-642.

• Sing,K.D.,K.W.T. Goulding & A.H.Sinclair 1983.Assessment of potassium in soils.Comm.soil Sci.plant Anal.14:1014-1033

• Sivasankar S, Oaks A (1996) Nitrate assimilation in higher plants-The effect of metabolites and synthase expression in the maize (*Zea mays*) root primary response to nitrate. Plant synthetase. New Phytol 169:265-278.

- Sparks, D. L. (1980). Chemistry of soil potassium in Atlantics Coastal Plain soils. A review. Common. Soil Sci. plant Anal. 11: 435 – 449.
- Sparks, D. L. (2000). Bioavailability of soil potassium. In Handbook of soil walcolml sumnered 2000 C.R.C. Press. NewYork.
- Sparks, D. L. 2001. Dynamics of K in soils and their role in management of K nutrition. International Potash Institute PR II K in nutrient management for sustainable crop production in India, New Delhi, India, 305
- Sparks, D. L., and Huang P. M. 1985. Physical Chemistry of soil potassium. In potassium in Agric. ASA-CSSA-SSSA, Madison, USA.
- Sparks, D.L. 1986. Potassium release from sandy soils. In:Nutrient balances and the need for potassium, (ed.) by international Potash Institute(IPI),bern,p.93-107.
- Sparks, D.L. 1987. Potassium dynamics in soils. Adv.Soil.Sci. 6:1-63.In(IPI). 1987.107-118.
- Stanley, E.M. 2005. Environmental chemistry. International Standard Book, CRC Press, New York, U.S.A.
- Stehouwer, R.C.; S. J. Traina and J.W. Johnson (1993). Potassium adsorption and exchange selectivity with an anhydrous ammonia fertilizer band. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 346-350.
- Subba Rao, A., and T.R. Srivastava (2001). Assessing potassium availability in Indian. In: N.S. Pasricha and S.K. Bansal (eds) "Potassium in India Agriculture". Potash Research Institute of India/International Potash Institutes, Basel, Switzerland, pp. 125-157.
- Syers, J.K. (1998). Soil and Plant potassium in agriculture. Proceedings. No. 411, The International Fertilizer Society York, U.K., pp: 32.

• Syers, J.K. (1998): Soil and plant potassium in agriculture. Proceedings No. 411, The International Fertiliser Society York, UK. 32 pp.

• Tabuchi M, Abiko T, Yamaya T (2007) Assimilation of ammonium-ions and re-utilization of nitrogen.

• Taimech, A. Y, and B. Hatter (1988). Phosphorus fixation in some calcareous Vertisols in Jordan. Dirasat XV(10):7 – 29.

• Tandon HLS. (1995). Recycling of Crop, Animal, Human and Industrial Waste in Agriculture, Hard Cover, India.

• Tandon HLS. (1998). Methods of Analysis of Soils, Waters, Plants and Fertilizers. Fertilizer development and consultation organization. 204-Bahanet Corner, New-Delhi, India.

• Tandon,H.L.S.(1999). Methods of Analysis of Soil,Plant,Water, and Fertilizer. Development and Consultation Organization. New Delhi. India.

• Tayal, M. Y. 1964. Iron status and behavior in the soil of Egypt. M. Sc. Thesis. Ain Shams Univ., Cairo, Egypt.

• Themminghoff,E.J.M. and V.J.G. Houba (2004).Plant Analysis Procedures. 2^{nd} Edition, Kluwer Academic Publisher, USA.

• Thompson, L. M., and F. R. Troeh. 1978. Soils and Soil Fertility. 4^{th} ed. McGraw-Hill Book Co., N. Y.

• Thompson, L.M. and F.R. Troech. 1979. Soil and soil fertility,4ed. Tata Mc Grow Hill. Publishing company Ltd. New Delhi.

• Tisdal, et al. (1993). Soil Fertility andFertilizers. Macmillon Publishing Co.N.Y.

• Tisdal, S. L. and Nelson, W. L. (1975). Soil Fertility and Fertilizers, 3rd edition, Macmillan Publushing Com. Inc. Ny. London.

• Tisdale, S. L., W. L. Nelson, J. D. Beaton, and J. L. Havlin. 1997. Soil Fertility and Fertilizers. Prentice-Hall of India, New Delhi.

• Tisdale, S.L., W.L., Nelson, J.D. Beaton and J.L. Havlin (1993). Soil fertility and fertilizers prentice Hall. Upper saddle, River. New Jersey. 7: 40-58.

• Tisdale, S.L.and W.N. Nelson. 1975. Soil fertility and fertilizers. (Ed.). Chap. 7:243-270. MacMillan Co.

• Tisdale,S.L;W.L.Nelson;J.D.Beaton and J.L.Havlin.1997.Soil Fertility and Fertilizers. Prentice–Hall of India,New Delhi.

• Vogtmann; H. et al (1986). The importance of Biological Agriculture in world of Diminishing Resources. Proc. of the 5th IFOAM Conf.

• Vostal,J. 2003. Soil fertility in Czech republic in decline. IFC 8:13-14.

• Wada, K. and Y. Kakuto. (1993). Non Exchangeable potassium in a 1.4 nanometer mineral, and mica in Korean Ultisol. Soil. Sci. soc. Am. J. 57: 552-557.

• Wang,J.J;Harrell,d.l.;Bell,P.F.2004.Potassium buffering characteristics of Three soils low in exchangeable potassium. Soil Sci. Soc. Am. J.68:654-661.

• White, R.E. (1980). Buffaring Capacity of soil on up take of phosphours by plant int. Cong. Soil. Sci. Trans. Gth (Adel aide Aust.) 11: 787-794.

• Wiklander, L. 1954. Forms of potassium in the soil. In Potassium. Potash Institute 1,109-112.

• Wolt, J.D.(1999). Soil Solution Chemistry: Application to Environmental science and agriculture. John Wiley Press and Sons, Inc.

• Yang, J.E., &E.O.Skogley.1992.Diffusion kinetics of multi nutrient accumulation by mix-bed, ion exchange resin.S.S.S.Am.J.56:408-414.

• Zhu, Y. D, X. Zhou, Z.Xia, S.Y. Wen, J.Shen, J.Ma, C.Tu, J.Fut .2010.The role of abscisic acid in early anthe development Plant Mol Biol. 72:1-2.

السيرة

الأستاذ الدكتور مظفر أحمد الموصلي

مواليد الموصل/ العراق-١٩٥٦

حاصل على شهادة البكالوريوس ١٩٧٩

والماجستير ١٩٨٣ والدكتوراه ٢٠٠٥ تخصص خصوبة التربة وتغذية النبات

حاصل على لقب الأستاذية ٢٠١٠

صدر له اكثر (٣٠) كتاب في (التربة والخصوبة والمياه والتحليل والنباتات الطبية)

نشر اكثر من ٣٢ بحث، واشرف على ٤ طلاب في الدراسات العليا

شارك في مؤتمرات وندوات علمي عربية وعالمية

الأستاذ المساعد الدكتورة وحيدة علي البدراني

مواليد الموصل/ العراق

حاصل على شهادة البكالوريوس ١٩٨١

والماجستير ١٩٨٧ والدكتوراه ٢٠٠٦ تخصص خصوبة التربة وتغذية النبات

حاصلة على لقب الأستاذ المساعد

وقدمت أوراقها للحصول على درجة الأستاذية

نشرت اكثر من ٢٠ بحث، وأشرفت على ٤ طلاب في الدراسات العليا

شاركت في مؤتمرات وندوات علمية عربية وعالمية

الأستاذ المساعد فاتح عبد سيد حسن

مواليد الموصل / العراق ١٩٥٩

حاصل على شهادة البكالوريوس ١٩٨١

والماجستير ١٩٨٦ تخصص خصوبة التربة وتغذية النبات

ستصدر ترقيته إلى أستاذ مساعد

نشر ٧ بحوث

وضع الجزء العملي لهذا الكتاب

الاستاذ المساعد الدكتور صالح محمد الراشدي

مواليد الموصل/ العراق-١٩٥٣

حاصل على شهادة البكالوريوس ١٩٧٥

والماجستير ١٩٨١ والدكتوراه ٢٠٠١ تخصص خصوبة التربة وتغذية النبات

حاصل على لقب الاستاذ المساعد ١٩٩٣

وقدم اوراقه للحصول على درجة الاستاذية

نشر اكثر من ٢٥ بحث، منها ١٠ خارج العراق في المؤتمرات العلمية

واشرف على ٤ طلاب في الدراسات العليا

تسلم منصب رئيس قسم علوم التربة والموارد المائية في جامعة الموصل

٢٠٠٥ الى ٢٠٠٧ ، والفترة الثانية ٢٠١٧ ولحد الان

شكر خاص الى

أستاذ تغذية النبات الأول

الدكتور سعد الله نجم النعيمي